

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal

Sollano Rabelo Braga

**APLICAÇÃO *WEB* PARA PROCESSAMENTO DE INVENTÁRIO FLORESTAL
POR MEIO DA PLATAFORMA SHINY**

DIAMANTINA

2019

Sollano Rabelo Braga

**APLICAÇÃO *WEB* PARA PROCESSAMENTO DE INVENTÁRIO FLORESTAL
POR MEIO DA PLATAFORMA SHINY**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira

Diamantina

2019

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B813a

Braga, Sollano Rabelo

Aplicação web para processamento de inventário florestal por meio da plataforma Shiny / Sollano Rabelo Braga, 2019.

107 p. : il.

Orientador: Marcio Leles Romarco de Oliveira

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

1. Mensuração. 2. Processamento de dados. 3. Cubagem. I. Oliveira, Marcio Leles Romarco de. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 634.9285

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM

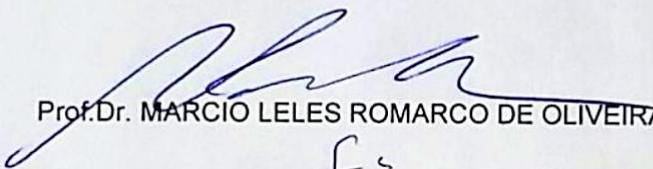
Bibliotecária Nádia Santos Barbosa, CRB6 – 3468.

Aplicação web para processamento de inventário florestal por meio da plataforma shiny

Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM CIÊNCIA
FLORESTAL, nível de MESTRADO
como parte dos requisitos para
obtenção do título de MESTRE EM
CIÊNCIA FLORESTAL

Orientador (a): Prof. Dr. Marcio Leles
Romarco De Oliveira

Data da aprovação : 19/02/2019



Prof.Dr. MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA - UFVJM



Prof.Dr. ERIC BASTOS GORGENS - UFVJM



Prof.Dr. ALESSANDRO VIVAS ANDRADE - UFVJM

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe Leana Maria Rabelo e ao meu pai Militão Sampaio Braga, pelo apoio e amor recebidos.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, em especial o professor Márcio Leles Romarco de Oliveira, pela orientação.

Ao professor Eric Bastos Gorgens que sempre me apoiou e contribuiu com ideias para o projeto.

Aos membros do laboratório de Mensuração e Manejo Florestal, pelo companheirismo e apoio.

Aos membros do site Stackoverflow pela ajuda.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pela oportunidade oferecida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

APLICAÇÃO WEB PARA PROCESSAMENTO DE INVENTÁRIO FLORESTAL POR MEIO DA PLATAFORMA SHINY

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver *web apps* específicos para área florestal, no que se refere a processamento de dados de inventário florestal de florestas equiâneas e inequiâneas utilizando linguagem R em plataforma online. Os *web apps* foram desenvolvidos no Laboratório de Mensuração e Manejo, na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UVJM, Campus JK, Diamantina/MG Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000. A hospedagem dos *apps* foi feita utilizando o serviço da *Amazon Web Services EC2*. O Sistema Operacional do servidor utilizado foi o Ubuntu Server 16.04. Foram desenvolvidos 3 *web apps*. A aplicação *web App Inventário de Nativas* foi desenvolvida com o foco em florestas inequiâneas, visando gerar variáveis, índices e gráficos que geralmente são utilizados em relatórios de inventários florestais de florestas naturais. O *App Cubagem* foi desenvolvido com o foco em cálculos de volume de árvores cubadas utilizando os métodos de Smalian ou Huber, realizar análises descritivas e ajustar modelos volumétricos utilizando estes dados. O *web app App Inventário Florestal* foi desenvolvido com enfoque em florestas equiâneas, e pode estimar a altura de árvores não medidas, volume de árvores inserindo os coeficientes de um dos modelos disponíveis, realizar uma análise descritiva dos dados e fazer estimativas de amostragem. Concluiu-se que os *web apps* foram desenvolvidos com sucesso, e podem ser acessados remotamente por meio de um navegador de internet.

Palavras-chave: Mensuração, Processamento de Dados, Cubagem.

WEB APP FOR INVENTORY DATA PROCESSING USING THE SHINY PLATAFORM

ABSTRACT

The aim of this study is to develop web apps for forestry data processing, specifically for inventory data from even-aged and uneven-aged forests using R language in an online platform. The web apps were developed in the Laboratório de Mensuração e Manejo, at the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys – UFVJM, Campus JK, Diamantina/MG Rodovia MGT 367 – Km 583, nº 5000. The apps were hosted using Amazon Web Services EC2. The Operating System used was Ubuntu Server 16.04. Three apps were developed. The web app App Inventário de Nativas was developed with focus on uneven-aged forests, aiming to provide most variables, indexes and graphics used in reports of inventories of natural forests. The web app App Cubagem was developed with focus on tree volume measurements and estimation using Smalian or Huber's method and volumetric models, and descriptive analysis of data. With web app App Inventário Florestal we aimed to allow the user to estimate the height of non-measured trees, estimate the volume of trees using coefficients of one of the available models, make a descriptive analysis of their data, and make sampling estimates of inventory data of even-aged forests. We concluded that the web apps were developed successfully, and can be accessed remotely by a web browser.

Keywords: Forest Mensuration, Data processing, Cubic volume.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	9
2 METODOLOGIA GERAL	10
Desenvolvimento dos web apps	10
Hospedagem dos web apps.....	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
CAPÍTULO 1 App Inventário de Nativas — APLICAÇÃO WEB PARA PROCESSAMENTO DE DADOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL DE FLORESTAS INEQUIÂNEAS	14
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5 CONCLUSÃO.....	51
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
CAPÍTULO 2 App Cubagem — APLICAÇÃO WEB PARA PROCESSAMENTO DE DADOS DE CUBAGEM	53
1 INTRODUÇÃO.....	55
2 OBJETIVOS.....	55
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5 CONCLUSÕES.....	77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CAPÍTULO 3 App Inventário Florestal — APLICAÇÃO WEB PARA PROCESSAMENTO DE DADOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL DE FLORESTAS EQUIÂNEAS.....	78
1 INTRODUÇÃO.....	80
2 OBJETIVOS.....	80
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	80

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
5 CONCLUSÕES	104
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
3 CONCLUSÕES GERAIS	105
APÊNDICE A — MANUAL DO PACOTE FORESTMANGR	106
APÊNDICE B — CÓDIGO FONTE DOS WEB APPS	107

1 INTRODUÇÃO GERAL

Após a coleta, inicia-se o processamento dos dados de inventário por meio de softwares. Esta etapa é fundamental para produzir as informações sobre a produção e/ou crescimento da floresta. A maioria dos softwares utilizados no processamento de dados de inventários florestais são proprietários. Isto faz com que o código fonte seja secreto, bem como atrela o uso a licenças de uso, que podem chegar a milhares de reais. Esta característica faz com que uma parcela dos profissionais autônomos, das instituições e autarquias públicas, dos organismos não governamentais, das agências de extensão, associações e sindicatos, alunos de graduação e pós-graduação dentre outros não tenham acesso a sistemas de apoio a decisão. Usualmente, estes usuários acabam recorrendo a planilhas eletrônicas.

Softwares livres vêm ganhando destaque como forma de empoderamento social, já que não possuem licença, e frequentemente distribuem abertamente o código fonte. Permitindo muitas vezes que o próprio usuário faça mudanças visando customização. Em contrapartida, os projetos de softwares livres são mantidos por uma comunidade de usuários ou instituição capaz de arcar com o baixo, ou ausente faturamento.

O R é uma poderosa linguagem e ambiente de programação estatística e gráfica muito utilizado no meio acadêmico e científico (R CORE TEAM, 2018). O R tem um princípio modular, em que por meio de pacotes é possível expandir os algoritmos computacionais para a análise de dados. O pacote *shiny*, por exemplo, permite ao usuário criar aplicações *web* (*web apps*) utilizando as funções e algoritmos desenvolvidos em R, de interface fácil e interativa (CHANG et al., 2017). Aplicações *web* (*web apps*) são softwares que utilizam uma estrutura distribuída em protocolo *http*. Como consequência, interface com o usuário é feita por meio de um navegador (*browser*) (PAULA FILHO, 2009).

Uma grande mudança em serviços de Tecnologia de Informação e Comunicação (Information and Communications Technology – ICT) é a computação em nuvem. Ela vem se tornando uma grande ferramenta para se realizar computações complexas e em grande escala (RITTINGHOUSE; RANSOME, 2010). Uma tendência observada no mercado de softwares é o *Software as a Service* (*SaaS*), que permite ao usuário realizar processamentos complexos remotamente e sob demanda, utilizando aplicações rodando em nuvem, sem a necessidade de instalação (MELL; GRANCE, 2011).

O objetivo deste trabalho é desenvolver aplicações *web* (*web apps*) específicas para

área florestal, voltado para o processamento de dados de inventário de florestas equiâneas e inequiâneas baseadas na linguagem R e disponíveis em plataforma online. O presente trabalho foi dividido em três capítulos, cada um dedicado a uma das aplicações, apresentadas da seguinte forma: o primeiro, com o objetivo de criar uma aplicação *web* para processamento de dados de inventário de florestas inequiâneas; o segundo, com o objetivo de criar uma aplicação *web* para processamento de dados de cubagem; o terceiro, com o objetivo de criar uma aplicação *web* para processamento de dados de inventário de florestas equiâneas.

2 METODOLOGIA GERAL

Desenvolvimento dos web apps

Os *web apps* foram utilizando a linguagem de programação R versão 3.4.3 (R CORE TEAM, 2018), rodando no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment – IDE*) RStudio. Diversas funções foram criadas para facilitar e padronizar os cálculos feitos nos aplicativos. Estas funções foram condensadas em um pacote e enviado para o CRAN, o repositório oficial de pacotes do R. O pacote foi nomeado *forestmangr* e está disponível para download (BRAGA; OLIVEIRA; GORGENS, 2019). Detalhes sobre o pacote e suas funções estão no apêndice A. Os aplicativos utilizam versões modificadas das funções disponíveis no pacote.

Além do *forestmangr*, os pacotes adicionais utilizados foram: *tidyr* para organização de dados (WICKHAM; HENRY, 2017); *dplyr* para manipulação de dados (WICKHAM et al., 2017); *ggplot2* para criação de gráficos (WICKHAM, 2016); *ggdendro* para a criação de dendrogramas utilizando o *ggplot2* (DE VRIES; RIPLEY, 2016); *ggpmisc* e *ggthemes* para a customização dos gráficos (APHALO, 2017; ARNOLD, 2018); *shiny*, para a criação de uma interface de usuário interativa (CHANG et al., 2017); *readxl* para importação de planilhas do *Excel* (WICKHAM; BRYAN, 2017) e *openxlsx* para exportação de dados em planilhas eletrônicas do *Excel* no formato *.xlsx* (WALKER, 2017). As páginas de apresentação dos *web apps* foram construídas utilizando a linguagem de marcação *markdown*, com o auxílio do pacote *rmarkdown* (ALLAIRE et al., 2017).

Como a linguagem R não pode gerar uma interface gráfica de usuário ou *graphical user interface (GUI)* nativamente para seus scripts, o pacote *shiny* (CHANG et al., 2017) foi utilizado para criar a GUI, gerando um *shiny app*. O *shiny app* funciona por meio de um script do R, que quando executado, gera uma aplicação *web*, que pode ser acessada por um navegador

de internet.

Para ser utilizado, é necessário que o R esteja instalado. O método mais utilizado para compartilhar esses *apps* é a sua hospedagem em um servidor, possibilitando o acesso remoto dos *apps*. Para isso é necessário montar um servidor privado, ou contratar um dos diversos serviços de nuvem disponíveis atualmente. No presente estudo, optou-se por montar um servidor privado.

Hospedagem dos web apps

A hospedagem dos *apps* foi feita utilizando o serviço da *Amazon EC2*. Nele é possível contratar uma máquina, escolher suas especificações, e configurá-la remotamente (AMAZON WEB SERVICES INC., 2018). O tipo de instância contratada foi o “Ubuntu Server 16.04 LTS (HVM), SSD Volume Type”, disponível no período gratuito de uso.

O Sistema Operacional do servidor utilizado foi o *Ubuntu Server 16.04*. O servidor foi configurado e acessado utilizando PuTTY, uma ferramenta feita para Windows que permite o acesso a servidores utilizando protocolos SSH (TATHAM, 2018). Nessa máquina foi instalado o R, para que realizar os processamentos das aplicações. O *Shiny Server* também foi instalado, para criar um *web server* no qual os shiny apps foram hospedados (RSTUDIO INC, 2018a). Além disso, o *RStudio Server* foi instalado, para facilitar a manutenção e atualização das aplicações *web* (RSTUDIO INC, 2018b). A instalação do *RStudio Server* em conjunto com o *Shiny Server* permite a utilização de uma *IDE* para o R dentro do servidor, facilitando a correção de erros e realização de testes.

Buscou-se padronizar a interface dos *web apps*, para facilitar a transição entre as aplicações por parte do usuário. A página web de chegada descreve o *web app*, suas funcionalidades e as referências. As etapas de processamento foram divididas por abas em ordem sequencial para facilitar a navegação. A última aba permite que o usuário faça download dos resultados.

Os códigos fontes dos apps foram armazenados em sistema *Git*, instalado dentro do servidor, de forma a realizar controle de versão (TORVALDS, 2018). *Git* foi instalado no servidor, e com ele foi feito *upload* dos *web apps*. Cada *web app* possui um endereço *web* específico, que pode ser acessado via navegador *web*, como *Chrome*, *Firefox* ou *Edge*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAIRE, J. et al. **rmarkdown: Dynamic Documents for R**, 2017. Disponível em:

<<https://cran.r-project.org/package=rmarkdown>>

AMAZON WEB SERVICES INC. **Amazon EC2**. Disponível em:

<<https://aws.amazon.com/ec2/>>

APHALO, P. J. **Learn R ...as you learnt your mother tongue**. Helsinki: Leanpub, 2017.

ARNOLD, J. B. **ggthemes: Extra Themes, Scales and Geoms for “ggplot2”**. **R package version 4.0.1**, 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=ggthemes>>

BRAGA, S. R.; OLIVEIRA, M. L. R. DE; GORGENS, E. B. **forestmangr: Functions for Forest Mensuration and Management**. **R package version 0.9.1**. Disponível em:

<<https://cran.r-project.org/package=forestmangr>>

CHANG, W. et al. **shiny: Web Application Framework for R**. **R package version 1.0.5**.

Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=shiny>>

DE VRIES, A.; RIPLEY, B. D. **ggdendro: Create Dendrograms and Tree Diagrams Using “ggplot2”**. **R package version 0.1-20**. Disponível em: <[https://cran.r-](https://cran.r-project.org/package=ggdendro)

[project.org/package=ggdendro](https://cran.r-project.org/package=ggdendro)>

MELL, P.; GRANCE, T. The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. **National Institute of Standards and Technology, Information Technology Laboratory**, v. 145, p. 7, 2011.

PAULA FILHO, W. DE P. **Engenharia de software**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ITC, 2009.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. **R**

Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>

RITTINGHOUSE, J.; RANSOME, J. **Cloud computing\nImplementation, Management, and Security**. New York: Taylor & Francis, 2010.

RSTUDIO INC. **Shiny Server – RStudio**. Disponível em:

<<https://www.rstudio.com/products/shiny/shiny-server/>>

RSTUDIO INC. **RStudio Server – RStudio**. Disponível em:

<<https://www.rstudio.com/products/rstudio-server/>>

TATHAM, S. **PuTTY**, 2018. Disponível em: <<https://www.putty.org>>

TORVALDS, L. **Git**, 2018. Disponível em: <<https://git-scm.com/>>

WALKER, A. **openxlsx: Read, Write and Edit XLSX Files.**, 2017. Disponível em:

<<https://cran.r-project.org/package=openxlsx>>

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York, NY: Springer New York, 2016.

WICKHAM, H. et al. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.7.2**.

Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=dplyr>>

WICKHAM, H.; BRYAN, J. **readxl: Read Excel Files. R package version 1.0.0**, 2017.

Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=readxl>>

WICKHAM, H.; HENRY, L. **tidyr: Easily Tidy Data with “spread()” and “gather()”**

Functions. R package version 0.7.1, 2017. Disponível em: <[https://cran.r-](https://cran.r-project.org/package=tidyr)

[project.org/package=tidyr](https://cran.r-project.org/package=tidyr)>

CAPÍTULO 1

App Inventário de Nativas — APLICAÇÃO WEB PARA PROCESSAMENTO DE DADOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL DE FLORESTAS INEQUIÂNEAS

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi criar uma aplicação web para processamento de dados de inventário florestal de florestas inequiâneas utilizando linguagem R em uma plataforma online. Inicialmente o aplicativo apresenta uma tela de introdução, e após isso, na aba de *upload*, o usuário tem a opção de fazer o upload dos seus dados, ou utilizar um dos dados de exemplo. Caso o usuário deseje inserir os seus próprios dados, estes devem estar em nível de fuste, árvore, ou parcela, caso contrário serão incompatíveis com as análises. O formato do arquivo de entrada pode ser valores separados por vírgula (comma separated values – CSV), ou em planilha eletrônica .xlsx, formato padrão do Microsoft Excel 2007 e superior. Após o upload, os dados podem ser visualizados dentro do *web app*. A próxima etapa, é o mapeamento de variáveis onde o usuário irá definir quais colunas dos seus dados são referentes às variáveis utilizadas pelo *web app*. Isso será feito com todas as variáveis que o *web app* utiliza, como árvore, nome científico, altura, etc. Esse processo é feito apenas uma vez. A próxima etapa é a preparação dos dados, onde são definidos alguns valores, como diâmetro mínimo e intervalo de classe para gráficos de classe diamétrica que serão feitos futuramente, remoção de colunas e filtragem de dados. Nesta etapa também é possível realizar a consistência dos dados, e estimar o volume das árvores utilizando um dos modelos retirados da literatura estabelecidos pelo *web app*, caso os dados não possuam esta variável. Na parte de análise fitossociológica, é feito o cálculo dos índices de diversidade, similaridade e agregação, além da análise estrutural dos dados. Na parte de quantificação, pode-se fazer análises de distribuição diamétrica, corte seletivo pelo método BDq, e cálculo das estatísticas de inventário florestal. Por fim, a aba de downloads permite que o usuário faça o download dos resultados. O aplicativo App Inventário de Nativas foi criado com sucesso, e pode ser acessado remotamente por meio de um navegador de internet.

Palavras-chave: Shiny, R, mensuração florestal.

CAPÍTULO 1

App Inventário de Nativas – WEB APPLIACTION FOR PROCESSING FOREST INVENTORY DATA OF UNEVEN-AGED FORESTS

ABSTRACT

The aim of this study was to create a web app for processing forest inventory data of uneven-aged forests using R language in an online platform. Initially the app shows an introduction screen, and after that, in the upload tab, the user has the option to either upload their data or use a built-in example. If the user chooses to upload their own data, the data but organized in a way that each line must be either a trunk, a tree or a plot, otherwise it will not be compatible with the app. The entry format can be either comma separated values (.csv) or spreadsheets (.xlsx), the standard Microsoft Excel format. After the upload, the data is shown inside the app. The next step is the variable mapping, where the user defines which columns from their data represents each variable used by the app. This will be done with all variables that the app uses, like tree, scientific name, height, etc. This process is done only once. The next step is data preparation, where some values are defined, such as minimum diameter for class interval, used in plots of diametric class, data filtering, and more. In this step is also possible to consist the data, and calculate the volume of trees using one of the given models, in case the data doesn't have a volume variable. In the phytosociology tab, diversity, similarity and aggregation indexes can be calculated. It's also possible to make a structural analysis of the forest. In the quantification tab we can analyze the diametric distribution of the date, selective cutting using the BDq method, and calculate the inventory statistics. And finally we have a download tab, where all results can be download by the user. The app Inventário de Nativas was created successfully and can be accessed remotely using a web browser.

Keywords: Shiny, R, forest mensuration.

1 INTRODUÇÃO

O inventário de florestas inequiduais é utilizado não só para quantificar o volume de madeira em uma determinada área, mas também para determinar composição de espécies e quantificar a estrutura. Além da estrutura horizontal e vertical, dados de inventário podem também ser usados para avaliar a estrutura interna, a estrutura espacial, a estrutura paramétrica. Estas informações são parte obrigatória de processos exigidos por órgãos governamentais para a autorização de intervenções ambientais.

As florestas inequiduais possuem uma grande variedade de espécies. Assim, além da coleta das variáveis dendrométricas como diâmetro e altura, deve-se obter informações da composição florística e fitossociológica. Recomenda-se ainda incluir análises sobre as espécies raras, arquitetura, iluminação, classe de copa, dentre outras variáveis qualitativas descritoras da floresta (SOUZA; SOARES, 2013). A partir dos dados sobre a composição florística, é possível realizar análises que incluem índices de similaridade de espécies (ex: Jaccard e Sorensen), índices de agregação (ex: Morisita e Payandeh) e de diversidade de espécies (ex: Shannon, Simpson e Pielou) (SOUZA; SOARES, 2013).

Na ausência de inventários contínuos, a intensidade de cortes em florestas inequiduais pode ser determinada a partir do método *BDq*. Considerando o conceito de floresta balanceada, define a distribuição diamétrica remanescente de modo a manter a estrutura inequidua da floresta equilibrada (quociente de Liocourt constante) (SOUZA; SOUZA, 2005).

A aplicação *web App Inventário de Nativas* foi desenvolvida visando gerar todas as variáveis, índices e gráficos mais utilizados em relatórios relacionados a inventários florestais em nativas.

2 OBJETIVOS

Criar uma aplicação *web* para processamento de dados de inventário de florestas inequiduais baseado em linguagem R.

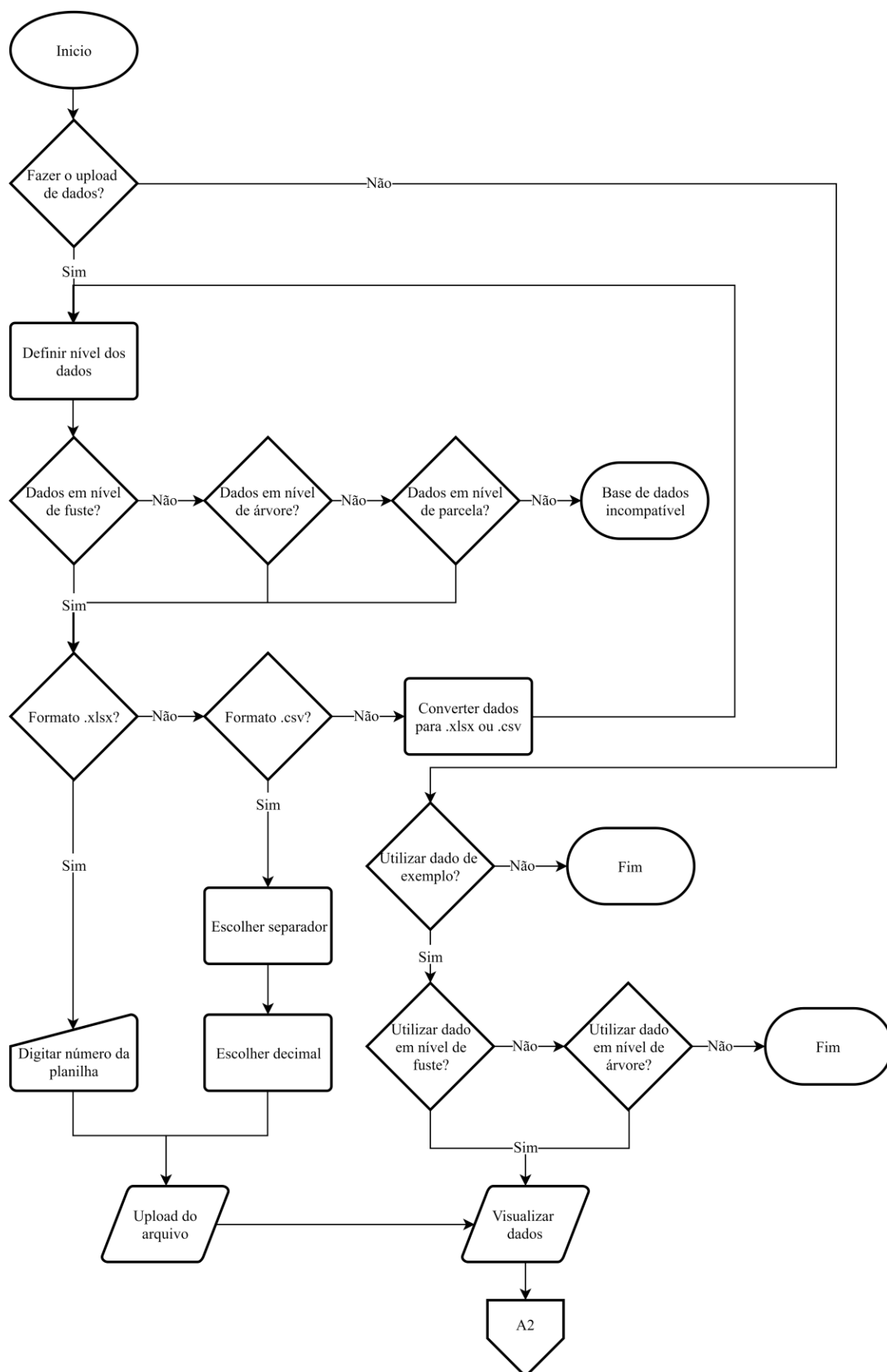
3 MATERIAL E MÉTODOS

O App Inventário de Nativas foi construído seguindo o fluxograma de processamento e análise de dados usualmente aplicada em inventários de florestas inequiduais. O processo se inicia com a ida a campo e a medição de informações dendrométricas de árvores (ex: diâmetro, altura), além do nome científico, nome popular, qualidade do tronco e posição

no estrato vertical são coletados.

Em regiões como a Amazônia, aferir a altura de forma precisa é inviável, e muitas vezes essa variável não é coletada. Os dados são registrados em pranchetas ou coletores digitais. Em florestas com baixa frequência ou ausência de árvores bifurcadas, como em regiões da mata atlântica e de floresta amazônica, os dados são coletados em nível de árvore. Nesta situação, cada linha da planilha representa uma árvore (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma para App Inventário de Nativas, parte 1



Fonte: Autor.

Em regiões do Cerrado é muito comum que ocorra a bifurcação do tronco de algumas árvores. Nesses casos, cada linha da prancheta é um fuste (lembrando que uma árvore pode ser formada por vários fustes). As informações dendrométricas, são obtidas para o fuste e não por árvores, formato conhecido como em nível de fuste.

Em base de dados em nível de fuste, é necessário agrupar as informações para o nível de árvores. Partindo dos diâmetros dos fustes, o diâmetro das árvores pode ser determinado pelo diâmetro equivalente (Fórmula 1).

$$d_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n dap_i^2} \quad (1)$$

em que: d_{eq} =diâmetro equivalente; n = número de fustes; dap = diâmetro do fuste medido a 1,30 m do solo (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012) (Figura 2).

Figura 2 – Código em R para calcular o diâmetro equivalente por árvore, consdierando notação do pacote “dplyr”

```
dados %>%
  group_by(arvore) %>%
  mutate(dap_equivalente = sqrt(sum(dap^2, na.rm=T)))
# ou utilizando o pacote forestmangr:
library(forestmangr)
tree_summarise(dados, "dap", tree="arvore")
```

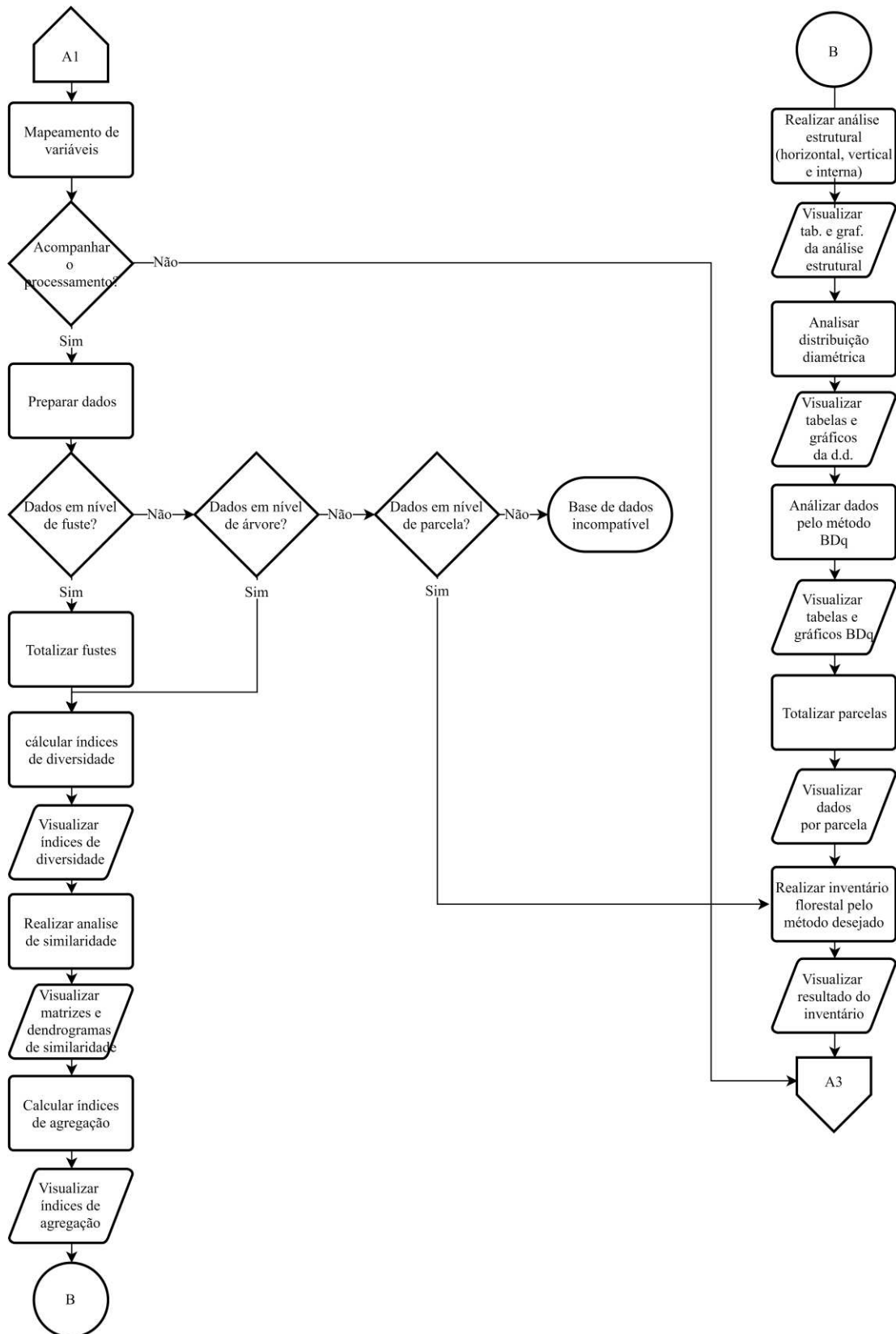
Fonte: Autor.

A base de dados pode ainda estar totalizada para o nível de parcela. Nestes casos, é possível partir direto para o cálculo das estatísticas amostrais como: média e erro amostral, dentre outros. Para análise fitossociológica é necessário que a base de dados esteja em nível de árvore. É possível reduzir o nível de fuste para o nível de árvores, mas não é possível passar do nível de árvore para nível de fuste, nem do nível de parcela para o nível de árvore. O App deve levar essas diferentes alternativas de entrada de dados em consideração (Figura 3).

Após a coleta inicia-se a etapa de consistência dos dados. Nela verifica-se possíveis erros de digitação e inconsistências nos dados. Usualmente, esse é um processo feito manualmente, analisando linha por linha da base de dados de forma cautelosa. No App, foram implementados algoritmos que analisam padrões estatísticos dos dados e lista possíveis inconsistências. As rotinas implementadas foram: razão diâmetro/altura das árvores, diâmetro e/ou altura fora do intervalo de 99,7 % dos dados (média \pm 3 desvios-padrão), árvores que possuem dap e tem altura menor que 1,30 m, espaços vazios no início ou final de nomes

científicos, ou mesmo árvores com o nome científico vazio.

Figura 3 — Fluxograma para App Inventário de Nativas, parte 2



Fonte: Autor.

Em florestas inequiduais, após a consistência dos dados, realiza-se a análise fitossociológica. Nesta etapa, avalia-se a distribuição espacial, a riqueza, a equabilidade, a diversidade, a similaridade entre as parcelas, e as diferentes estruturas da floresta (SOUZA; SOARES, 2013). Estas informações são essenciais para uma adequada descrição da área, e deve complementar as informações volumétricas obtidas em inventários tradicionais.

A diversidade de espécies pode ser computada de diferentes formas, por isto o App deve considerar a pluralidade de métodos (SOUZA; SOARES, 2013). Os índices implementados para a análise de diversidade entre espécies foram: diversidade de Shannon, dominância de Simpson, Diversidade Máxima, equabilidade de Pieolou e coeficiente de mistura de Jentsch (Fórmulas 2, 3, 4, 5 e 6).

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i * \ln(p_i) \quad (2)$$

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S n_i * (n_i - 1)}{N * (N - 1)} \quad (3)$$

$$H'_{max} = \ln(S) \quad (4)$$

$$J = \frac{H'}{H'_{max}} \quad (5)$$

$$QM = \frac{S}{N} \quad (6)$$

em que: H' = diversidade de Shannon; $p_i = n_i/N$, ou seja, densidade relativa da i -ésima espécie por área; n_i = número de indivíduos da espécie i ; N = número total de indivíduos; \ln = logaritmo neperiano; C = dominância de Simpson; S = número total de espécies amostradas; H'_{max} = diversidade máxima; J = equabilidade de Pieolou; Q = coeficiente de mistura de Jentsch.

Os códigos a seguir foram utilizados para calcular os índices de diversidade (Figura 4):

Figura 4 – Código em R para calcular índices de diversidade

```
tableFreq = table(x)

tableP = data.frame(tableFreq)

names(tableP) = c("especie", "freq")

# Calcula número de indivíduos na amostra
N = sum(tableP$freq)

# Calcula a proporção de cada espécie
tableP$p = tableP$freq / N
```

```

# Calcula o log da proporção de cada espécie
tableP$lnp = log(tableP$p)

tableP[tableP$lnp == "-Inf", "lnp"] = 0

# Número de espécies amostradas
Sesp = length(tableP[tableP$freq > 0, "especie"])

# Calcula Shannon
H = round(- sum(tableP$p * tableP$lnp), 2)

# Calcula Simpson
S = round(1 - (sum(tableP$freq*(tableP$freq - 1))/(N*(N-1))), 2)

# Diversidade Máxima
Hmax = round(log(length(tableP$freq[tableP$freq>0])), 2)

# Equabilidade de Pielou
J = round(H / Hmax, 2)

# Coeficiente de mistura de Jentsch
QM = round(Sesp / N, 2)

# ou utilizando o pacote forestmangr:
library(forestmangr)

species_diversity(dados, "nome.cientifico")
Fonte: Autor.

```

Os índices de similaridade que foram implementados no App podem ser utilizados para quantificar a similaridade entre comunidades ou entre parcelas. Estão disponíveis o índice de similaridade de Jaccard e Sorensen (Fórmulas 7 e 8).

$$SJ_{ij} = \frac{c}{a+b-c} \quad (7)$$

$$SO_{ij} = \frac{2*c}{a+b} \quad (8)$$

em que: SJ = similaridade de Jaccard; SO = similaridade de Sorensen; a = número de espécies ocorrentes na parcela 1 ou comunidade; b = número de espécies ocorrentes na parcela 2 ou comunidade; c = número de espécies comuns às duas parcelas ou comunidades (SOUZA; SOARES, 2013). Os códigos a seguir foram utilizados para calcular os índices de diversidade (Figura 5):

Figura 5 – Código em R para calcular índices de similaridade

```

# species se refere a coluna 'especies' e
# comparison se refere a coluna utilizada para comparação

# Converter variaveis categoricas em fatores

```

```

df[,species] <- as.factor(df[,species])
df[,comparison] <- as.factor(df[,comparison])

#drop levels para quando remover níveis que não estão mais nos dados
compair = levels(droplevels(df[,comparison]))

for (p in seq(1, length(compair)-1,1)){
  for (r in seq(p+1, length(compair),1)){
    # Encontrar o número de espécie que ocorrem na parcela
    a = length(unique(semNI[semNI[,comparison] == compair[p], species]
  ))

    b = length(unique(semNI[semNI[,comparison] == compair[r], species]
  ))

    c = length(intersect(unique(semNI[semNI[,comparison] == compair[p]
, species]),
                        unique(semNI[semNI[,comparison] == compair[r]
, species])))

    SJ[p, r] = round(c / (a+b-c), 2)
    SJ[r, p] = round(c / (a+b-c), 2)

    SO[p, r] = round(2 * c / (a+b), 2)
    SO[r, p] = round(2 * c / (a+b), 2)
  }
}

# ou utilizando o pacote forestmangr:
library(forestmangr)

similarity_matrix(dados, "nome.cientifico", "parcela")

```

Fonte: Autor.

Os índices de agregação são utilizados para estudar o comportamento espacial das espécies. Os padrões de agregação são regular, aleatório ou agregado (SOUZA; SOARES, 2013). Foram implementados os índices de agregação de Payandeh, Hazen e Morista (Fórmulas 9, 10 e 11).

$$P_i = \frac{S_i^2}{M_i}; S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{U_T} n_{ij}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{U_T} n_{ij})^2}{U_T}}{U_T - 1}; M_i = \frac{\sum_{j=1}^{U_T} n_{ij}}{U_T} \quad (9)$$

$$IH_i = \frac{S_i^2}{M_i} * (U_T - 1) \quad (10)$$

$$IM_i = \frac{\sum_{j=1}^{U_T} n_{ij} * (n_{ij} - 1)}{n_i * (n_i - 1)} * U_T \quad (11)$$

em que: P_i = índice de Payandeh; S_i^2 = variância do número de árvores da i -ésima espécie; M_i

= média do número de árvores da i -ésima espécie; n_{ij} = número de árvores da i -ésima espécie na j -ésima parcela; U_i = Número de unidades de amostra em que a i -ésima espécie ocorre; U_T = número total de parcelas amostradas; IH_i = índice de Hazen; IM_i = índice de Morista. Os códigos a seguir foram utilizados para calcular os índices de agregação (Figura 6):

Figura 6 – Código em R para calcular índices de agregação

```
# SPECIES se refere a coluna 'especies' e
# PLOT se refere a coluna 'parcela'
espList = levels(factor(df[,SPECIES]))

# Converter variaveis categoricas em fatores
df[,PLOTS] <- as.factor(df[,PLOTS])
df[,SPECIES] <- as.factor(df[,SPECIES])

# Constroi tabela de frequencia
pivot = data.frame(table(df[SPECIES]))
names(pivot) = c("especie", "sum")
pivot = pivot[which(pivot$especie %in% espList),]

# Calcula número de parcelas na área de estudo
nplots = length(unique(df[,PLOTS]))

# Qui-quadrado tabelado para indice de Hazen
chisq75 = stats::qchisq(0.75, nplots - 1)
chisq99 = stats::qchisq(0.99, nplots - 1)

for (i in levels(df[,PLOTS])){
  tableFreq = data.frame(table(df[df[PLOTS] == i,SPECIES]))
  pivot = cbind(pivot, tableFreq[which(tableFreq[,1] %in% espList),2])
  names(pivot)[ncol(pivot)] = i
}

agreg = pivot[1]

agreg = pivot[1]
if(nplots > 3){
  for (i in seq(1, length(pivot[,1]))) {
    Si = stats::var(as.numeric(pivot[i, seq(3, (2 + nplots), 1)]))
    Mi = mean(as.numeric(pivot[i, seq(3, (2 + nplots), 1)]))
    agreg[i,"Payandeh"] = round(Si/Mi, 1)
    if(round(Si/Mi, 1) == 1){
      agreg[i, "Pay.res"] = "Random"
    } else if(round(Si/Mi, 1) < 1) {
      agreg[i, "Pay.res"] = "Regular"
    } else {
      agreg[i, "Pay.res"] = "Aggregated"
    }

    agreg[i,"Hazen"] = round(Si/Mi * (nplots - 1), 1)
    if(round(Si/Mi * (nplots - 1), 1) > chisq99){
      agreg[i, "Haz.res"] = "Aggregated"
    }
  }
}
```

```

} else if(round(Si/Mi * (nplots - 1), 1) < chisq75) {
  agreg[i, "Haz.res"] = "Not aggregated"
} else {
  agreg[i, "Haz.res"] = "Tends to aggregate"
}

if ( (as.numeric(pivot[i, 2]) * (as.numeric(pivot[i, 2])-1)) != 0){

  agreg[i,"Morisita"] = round((sum(as.numeric(pivot[i, seq(3, (2 + n
plots), 1)]) * (as.numeric(pivot[i, seq(3, (2 + nplots), 1)]) - 1))) / (as
.numeric(pivot[i, 2]) * (as.numeric(pivot[i, 2])-1)) * nplots, 1)

} else {
  agreg[i,"Morisita"] = round(0, 0)
}
if(agreg[i,"Morisita"] == 1){
  agreg[i, "Mor.res"] = "Random"
} else if(agreg[i,"Morisita"] < 1 & agreg[i,"Morisita"] > 0) {
  agreg[i, "Mor.res"] = "Regular"
} else if(agreg[i,"Morisita"] == 0){
  agreg[i, "Mor.res"] = "Rare"
} else {
  agreg[i, "Mor.res"] = "Aggregated"
}
}

return(dplyr::as_tibble(agreg))

} else {

  stop("Low number of plots", .call=FALSE)

}

# ou utilizando o pacote forestmangr:
library(forestmangr)

species_aggreg(dados, "nome.cientifico", "parcela")

```

Fonte: Autor.

As estruturas da floresta também são muito utilizadas para descrever a vegetação. A estrutura horizontal é descrita por três parâmetros: densidade, dominância e frequência, em forma relativa ou absoluta. Para avaliar a importância ecológica de uma espécie na comunidade, os parâmetros de estrutura horizontal podem ser combinados por meio de um índice de valor de importância ou de valor de cobertura (Fórmulas 12, 13, 14, 15 e 16).

$$DA_i = \frac{n_i}{A}; DR_i = \frac{DA_i}{\sum_{i=1}^S DA_i} * 100 \quad (12)$$

$$g_j = \frac{\pi}{40000} * dap_j^2; G_i = \sum_{j=i}^{n_i} g_j; DoA_i = \frac{G_i}{A}; DoR_i = \frac{DoA_i}{\sum_{i=1}^S DoA_i} * 100 \quad (13)$$

$$FA_i = \frac{U_i}{U_T} * 100; FR_i = \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^S FA_i} * 100 \quad (14)$$

$$IVI_i(\%) = \frac{DR_i + DoR_i + FR_i}{3} \quad (15)$$

$$IVC_i(\%) = \frac{DR_i + DoR_i}{2} \quad (16)$$

em que: S = número total de espécies amostradas; ni = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie; N = número total de indivíduos amostrados; A = área total amostrada, em hectare (ha); DA_i = densidade absoluta da i -ésima espécie, em número de indivíduos por hectare, por espécie ($n_i.ha^{-1}$); DR_i = densidade relativa (%) da i -ésima espécie. Os códigos a seguir foram utilizados para realizar análise estrutural horizontal (Figura 7):

Figura 7 – Código em R para realizar análise estrutural horizontal

```
# Constroi tabela de frequencia
pivot = data.frame(table(df[SPECIES]))
names(pivot) = c("especie", "sum")
pivot = pivot[which(pivot$especie %in% espList),]

# Calcula número de parcelas na area de estudo
nplots = length(unique(df[,PLOTS]))

# Estrutura horizontal
# Calcula frequencia absoluta e relativa
for (i in levels(df[,PLOTS])){
  tableFreq = data.frame(table(df[df[PLOTS] == i,SPECIES]))
  pivot = cbind(pivot, tableFreq[which(tableFreq[,1] %in% espList),2])
  names(pivot)[ncol(pivot)] = i
}

AcAFi = 0
AF = 0
for (i in seq(1, nrow(pivot), 1)){
  contagem = pivot[i,-c(1,2)] > 0
  cplots = length(contagem[contagem == TRUE])
  AFi = cplots/nplots * 100
  AcAFi = AcAFi + AFi
  AF[i] = AFi
}

result = pivot[1]
result["AF"] = round(AF, 4)

RF = AF / AcAFi * 100
result["RF"] = round(RF, 4)

# Calcula densidade absoluta e relativa

AD = pivot[2] / (nplots * (AREA.PLOT/10000) )
```



```

result["AD"] = round(AD, 4)
AcADi = sum(AD)
DR = AD / AcADi * 100
result["DR"] = round(DR, 4)

# Calcula dominância absoluta e relativa

df["AB"] = df[DBH]^2 * pi / 40000
AB = tapply(df[, "AB"], df[, SPECIES], sum)
AB = AB[which(names(AB) %in% espList)]

ADo = AB / (nplots * (AREA.PLOT/10000) )
result["ADo"] = round(ADo, 6)

AcADoi = sum(ADo)
RDo = ADo / AcADoi * 100
result["RDo"] = round(RDo, 6)

# Calcula Valor de Cobertura
IVC = (DR + RDo)/2
result["IVC"] = round(IVC, 6)

# Calcula valor de Importancia
IVI = (RF + DR + RDo)/3
result["IVI"] = round(IVI, 6)

# ou utilizando o pacote forestmangr
library(forestmangr)

forest_structure(dados, "nome.scientifico", "dap", "parcela", "area.parcela")

```

Fonte: Autor.

A estrutura vertical da floresta proporciona uma análise de posição das espécies ao longo de camadas verticais da comunidade florestal. A estrutura vertical implementa um conceito de posição sociológica, determinando para cada espécie um grau de importância considerando a sua distribuição pela estrutura vertical (Fórmulas 17 e 18).

$$N_j = \sum_{i=1}^m n_{ij}; N = \sum_{i=1}^S N_j \quad (17)$$

$$PSA_i = \sum_{j=1}^m n_{ij} * \frac{N_j}{N}; PSR_i = \frac{PSA_i}{\sum_{i=1}^S PSA_i} * 100 \quad (18)$$

$$QAF_i = \sum_{j=1}^m n_{ij} * \frac{N_j}{N}; QRF_i = \frac{QAF_i}{\sum_{i=1}^m QAF_i} * 100 \quad (19)$$

em que: m = número de estratos; N_j = número de indivíduos no j -ésimo estrato; N = número total de indivíduos amostrados; A = área total amostrada; S = número total de espécies amostradas; PSA_i = posição sociológica absoluta na i -ésima espécie; PSR_i = posição

sociológica relativa na i -ésima espécie. Os códigos a seguir foram utilizados para realizar análise estrutural vertical e interna (Figura 8):

Figura 8 – Código em R para realizar análise estrutural vertical e interna

```
# Estrutura vertical

vert = pivot["especie"]
for (j in levels(df[,VERTICAL])){
  daVert = data.frame(table(df[df[VERTICAL] == j, SPECIES]))
  vert = cbind(vert, daVert[which(daVert[,1] %in% espList),2])
}

names(vert)[-1] = levels(df[,VERTICAL])
#valor fitossociologico pag 49
VFj = data.frame()
for (j in levels(df[,VERTICAL])){
  VFj[1,j] = sum(vert[, j]) / sum(vert[, seq(2,length(levels(df[,VERTI
CAL]))+1,1)]) * 100
}

for (j in levels(df[,VERTICAL])){
  for (i in seq(1, nrow(vert), 1)){
    vert[i, paste("VF", j, sep = "")] = vert[i, j] * VFj[1, j]
    result[i, paste("VF", j, sep = "")] = vert[i, j] * VFj[1, j]
  }
}

AcPSAi = 0
for (i in seq(1, nrow(vert), 1)){
  PSAi = 0
  for (j in levels(df[,VERTICAL])){

    PSAi = PSAi + VFj[1, j] * vert[i, j]
  }
  vert[i, "PSA"] = PSAi
  AcPSAi = AcPSAi + PSAi
}

result["PSA"] = vert["PSA"]
result["PSR"] = vert["PSA"] / AcPSAi * 100
rm(AcPSAi, i, j, PSAi, VFj, daVert, vert)

# Estrutura Interna
intern = pivot["especie"]
for (j in levels((df[,INTERNA]))){
  daInter = data.frame(table(df[df[INTERNA] == j, SPECIES]))
  intern = cbind(intern, daInter[which(daInter[,1] %in% espList),2])
}
names(intern)[-1] = levels(df[,INTERNA])

for (j in levels(df[,INTERNA])){
```

```

    for (i in seq(1, nrow(intern), 1)){
      intern[i, paste("QF", j, sep = "")] = intern[i, j] * (sum(intern[,
j]) / sum(intern[, seq(2,length(levels(df[,INTERNA]))+1,1)]))
      result[i, paste("QF", j, sep = "")] = intern[i, j] * (sum(intern[,
j]) / sum(intern[, seq(2,length(levels(df[,INTERNA]))+1,1)]))
    }
  }

  AcQAFi = 0

  for (i in seq(1, nrow(intern), 1)){
    intern[i, "QAF"] = sum(intern[i, seq(2+length(levels(df[,INTERNA])),
2*length(levels(df[,INTERNA]))+1,1)])
    AcQAFi = AcQAFi + intern[i, "QAF"]
  }

  result["QAF"] = intern["QAF"]

  result["QRF"] = intern["QAF"] / AcQAFi * 100

# ou utilizando o pacote forestmangr
library(forestmangr)

forest_structure(dados, "nome.scientifico", "dap", "parcela", "area.parcel
a", vertical_est = "altura", internal_est = "qualidade.fuste")

```

Fonte: Autor.

Partindo do mesmo conceito de posição socioecológica, pode-se analisar a distribuição dos indivíduos e das espécies frente a outros agrupamentos. A estrutura interna da floresta avalia essa distribuição com relação à grupos que indicam a qualidade do fuste, e complementa a análise estrutural da floresta, sendo um indicador do valor econômico da floresta (Fórmula 19). O app permite o cálculo dessas análises, desde que as variáveis necessárias para o seu cálculo sejam fornecidas.

O App permite analisar a estrutura paramétrica, do diâmetro, considerando o método de corte seletivo *BDq*. A partir de valores de diâmetro máximo (*D*) e (*q*) de Liocourt previamente definidos é possível calcular a distribuição diamétrica equilibrada para a floresta (SOUZA; SOARES, 2013). O método *BDq* foi implementado a partir do modelo de distribuição de diâmetro de Meyer linearizado (Fórmulas 20, 21, 22 e 23).

$$\ln(Y_j) = \beta_0 + \beta_1 * D_j * \varepsilon_j \quad (20)$$

$$b1 = \frac{\ln(q)}{D_j - D_{j+1}} \quad (21)$$

$$b0 = \ln\left(\frac{40000 * G}{\pi * \sum_{j=1}^j D_j^2 * e^{b_j * D_j}}\right) \quad (22)$$

$$\ln(\hat{Y}_j) = b_0 + b_1 * D_j \quad (23)$$

em que: D_j = diâmetro máximo desejado após o corte; q = coeficiente de Liocourt; G = área basal remanescente; Y_j = produção na classe j ; \hat{Y}_j = produção balanceada na classe j . Os códigos a seguir foram utilizados para calcular os índices de diversidade (Figura 9):

Figura 9 – Código em R para realizar o corte seletivo pelo método *BDq*

```
# Calcula b1 do modelo de Meyer
b1 = round(log(LICOURT)/(- INTERVALO.CLASSE), 6)

# Calcula b0 do modelo de Meyer
temp.b0 = DD$Class_Center^2 * exp(b1 * DD$Class_Center)
sum.temp.b0 = sum(temp.b0)

areaBasal = (DD$Class_Center^2 * pi / 40000) * (DD$IndvHectare)

b0 = log(40000 * sum(areaBasal) / (pi * sum.temp.b0))

# ou utilizando o pacote forestmangr:
library(forestmangr)

bdq_meyer(dados, "parcela", "dap", plot_area = 1000, class_interval = 10)
```

Fonte: Autor.

Estimar o volume de árvores individuais é a próxima etapa do processamento do inventário florestal. A partir dela estima-se a produção total de cada parcela, informação essencial nos relatórios e análises envolvendo gestão de recursos florestais. Existem diversos métodos de estimativa de volume como: tabelas de volume, fator de forma, redes neurais e modelos volumétricos. O App foi implantado considerando modelos volumétricos por sua praticidade e aplicabilidade. Foram selecionados os modelos mais utilizados na literatura, incluindo opções de uma (diâmetro) e duas entradas (diâmetro e altura) (Tabela 1).

Tabela 1 — Modelos de volume de árvore individual implementados no *app*

Modelo	Autor
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap) + \beta_2 * Ln(H) + \varepsilon$	Schumacher e Hall
$V = \beta_0 + \beta_1^{dap} + \beta_2^H + \varepsilon$	Schumacher e Hall
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap) + \varepsilon$	Hummel
$V = \beta_0 + \beta_1 * dap^2 + \varepsilon$	Kopezki-Geharhardt
$V = \beta_0 + \beta_1 * dap + \beta_2 * dap^2 + \varepsilon$	Hohenadl-Krenn
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * dap + \beta_2 * dap^2 + \varepsilon$	Sem autor
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap) + \varepsilon$	Husch
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap^2 * H) + \varepsilon$	Spurr
$V = \beta_0 + \beta_1 * dap^2 * H + \varepsilon$	Spurr

Fonte: (MAZAROTTO, 1989; IMAÑA-ENCINAS et al., 2009; CAMPOS; LEITE, 2017).

em que: V = Volume; dap = diâmetro a 1,30 do solo; H = altura, ε = erro padrão.

Antes de calcular as estatísticas do inventário florestal, é necessário totalizar as variáveis para o nível de parcela. No caso do volume, calcula-se o volume total de cada parcela (somatório do volume das árvores contidas na parcela). Outras variáveis também devem ser calculadas nessa etapa, como área basal, número de indivíduos por hectare, diâmetro quadrático, entre outras. Após essa etapa, já é possível obter o intervalo de confiança. No *app*, foram disponibilizados três tipos de amostragem: casual simples, casual estratificada, e sistemática (Fórmulas 24 a 33) (CAMPOS; LEITE, 2017).

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (24)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n}}{n-1} \quad (25)$$

$$S_{\bar{Y}}^2_{acs} = \frac{S^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right) \quad (26)$$

$$P_j = \frac{N_j}{N} \quad (27)$$

$$\bar{Y}_{ace} = \sum_{j=1}^M P_j \bar{Y}_j \quad (28)$$

$$S_{\bar{Y}}^2_{ace} = \frac{(\sum_{j=1}^M P_j S_j)^2}{n} - \frac{\sum_{j=1}^M P_j S_j^2}{N} \quad (29)$$

$$S_{\bar{Y}}^2_{as} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{2n(n-1)} * \left(\frac{N-n}{N}\right) \quad (30)$$

$$S_{\bar{Y}} = \pm \sqrt{S_{\bar{Y}}^2} \quad (31)$$

$$E = \pm S_{\bar{Y}} * t_{\alpha} \quad (32)$$

$$E\% = \pm \frac{S_{\bar{Y}} * t_{\alpha}}{\bar{Y}} * 100 \quad (33)$$

em que: Y_i = Quantidade da variável Y medida na i -ésima unidade de amostra; \bar{Y} = Média de Y por unidades de amostra; n = Número de parcelas amostradas; N = Número total de unidades de amostra na população; N_j = Número total de unidades de amostra em cada j -ésimo estrato; P_j = Proporção do número de unidades de amostra em cada estrato em relação ao número total de unidades de amostra; S^2 = Variância da amostra; $S_{\bar{Y}}^2_{acs}$ = Variância da média para amostragem casual simples; S_j^2 = Variância estimada de Y em cada j -ésimo estrato; S_j = Desvio-padrão de Y em cada j -ésimo estrato; $S_{\bar{Y}}^2_{ace}$ = Variância da média para amostragem casual estratificada; $S_{\bar{Y}}^2_{as}$ = Variância da média para amostragem sistemática; $S_{\bar{Y}}$ = Erro-padrão da média; E = Erro absoluto do inventário; t_{α} = estatística t -student considerando probabilidade α e $n - 1$ graus de liberdade; $E\%$ = Erro relativo do inventário. Os códigos a seguir foram utilizados para calcular as estatísticas do inventário florestal (Figura 10):

Figura 10 – Código em R para calcular estatísticas do inventário florestal

```
# ACS
t = stats::qt(alpha/2, df = n-1, lower.tail = FALSE)
Y = mean(Yi, na.rm=T) # Média do volume
Sy = sqrt( stats::var(Yi,na.rm=T)/n * (1 - (n/N)) ) # erro padrao da media
Abserror = Sy * t # Erro Absoluto
Percerror = Abserror / Y * 100 # Erro Percentual

# ACE
Y = sum(Pj_Yj), # media de Yi estratificada (ponderada)
```

```

Sy = sqrt(sum(Pj_Sj) ^2 / sum(nj) - (mean(EPj_Sj2) / mean(N) ) ) # Erro-p
adiao da media

# AS
Sy = sqrt( (sum(diff(!!Yi_sym)^2,na.rm=T) / (2 * n * (n-1) ) ) * ((N-n)/N)
)

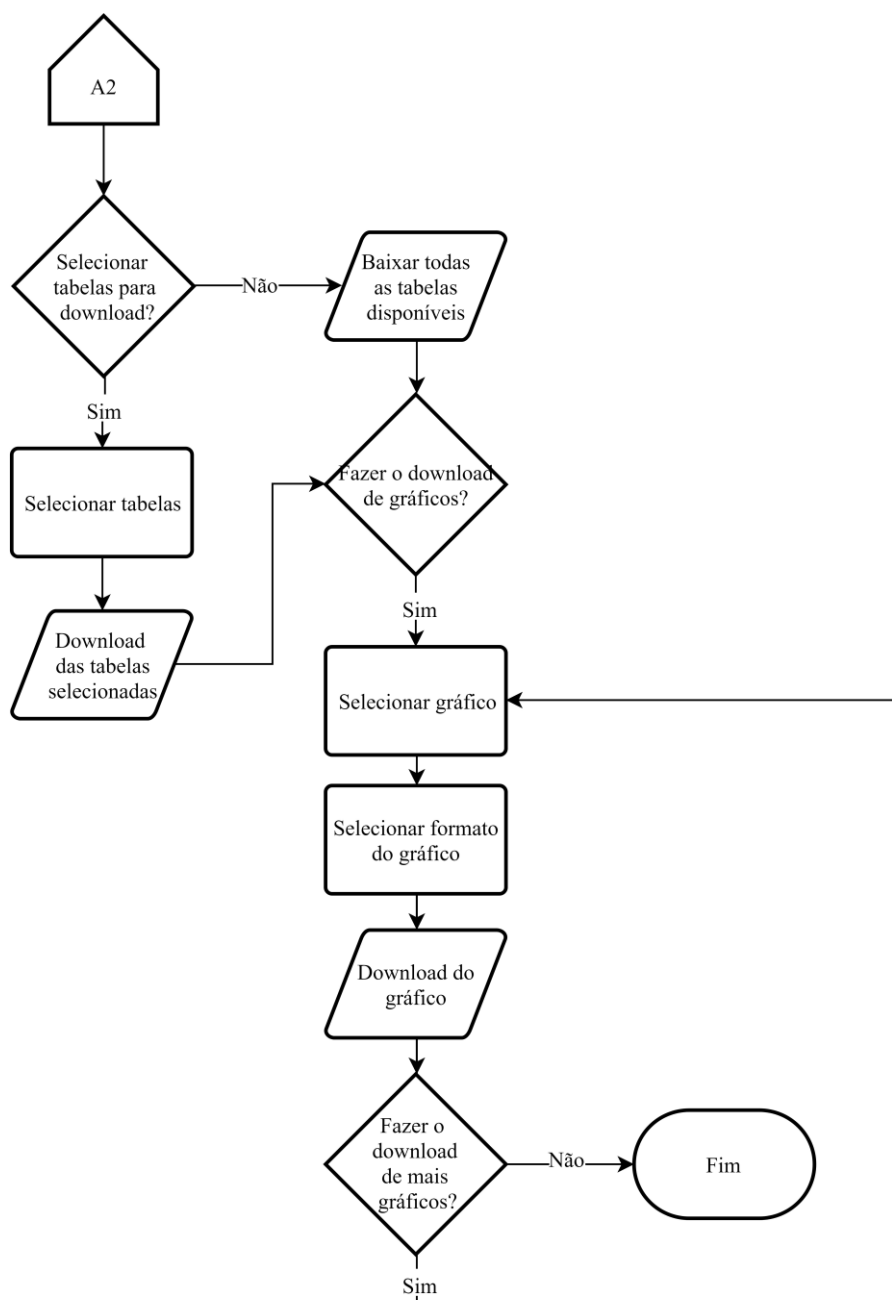
Abserror = Sy * t, # Erro Absoluto
Percerror = Abserror / Y * 100, # Erro percentual

# ou utilizando o pacote forestmangr:
library(forestmangr)
# ACS
sprs(dados, "vol", "area.parcela", "area.total", pop="fin")
# ACE
strs(dados, "vol", "area.parcela", "area.talhao", "estrato", pop="fin")
# AS
ss_diffs(dados, "vol", "area.parcela", "area.total", pop="fin")

```

Fonte: Autor.

Após o processamento, os dados são organizados em relatórios, que podem ser utilizados para descrever estimativas de área, quantidade e qualidade de diferentes recursos florestais, estimativas de crescimento (caso o inventário seja feito mais de uma vez). O resultado gerado pelo App deve ser capaz de fornecer informações para diversos tipos de relatórios, incluindo mas não se limitando ao intervalo de confiança do volume real do local, número de indivíduos por espécies, diversidade, riqueza, informações sobre as espécies mais importantes e recorrentes na área, entre outras.

Figura 11 — Fluxograma para App Inventário de Nativas, parte 3

Fonte: Autor.

Na última aba do *app*, o usuário tem a opção de fazer o download das análises anteriormente realizadas, seja em forma de tabela, seja em forma de gráficos. O download poderá ser feito de forma seletiva (escolhendo quais tabelas serão baixadas), ou realizando o download de todas as tabelas disponíveis. Uma planilha eletrônica no formato *.xlsx* contendo os resultados será gerada, e salva na pasta de downloads padrão do usuário. Já os gráficos deverão ser selecionados e salvos um a um. Da lista de gráficos, o usuário escolhe, visualiza,

seleciona o formato desejado (.png, .jpg ou .pdf) para realizar o download. O arquivo é salvo na pasta padrão de downloads do usuário. As imagens são geradas sempre em 300 dpi.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A identidade do aplicativo foi desenhada a partir de uma barra superior verde, contendo abas sequencialmente e cronologicamente organizadas. Cada aba apresentou sub-abas, unindo análises semelhantes ou sequencialmente coerentes (Figura 12). A aba Intro é a tela de entrada na aplicação, e contém informações básicas sobre o App, bem como as principais fontes consultadas para sua construção.

Figura 12 — Aba de introdução ao App Inventário de Nativas



Fonte: Autor.

A aba importação foi construída para que o usuário possa fazer o upload dos dados coletados em campo. O usuário pode inserir os seus dados tanto em nível de fuste, árvore ou parcela (Figura 13). Para ilustrar e orientar os materiais de apoio, foi incluído no App um banco de dados de inventário como exemplo.

A aplicação é capaz de importar base de dados em valores separados por vírgula (*comma-separated values – csv*), ou em planilha eletrônica formato padrão do *Microsoft Excel* 2007 ou superior (*xlsx*). Esses formatos foram escolhidos por serem os mais utilizados para armazenar dados de inventário florestal. Como existem variações de separador de colunas e

separador decimal no formato *csv*, a tela de importação permite que o usuário defina estes parâmetros. Na importação de arquivos *xlsx*, é necessário definir qual das abas será importada. Por definição, a primeira aba da planilha vem selecionada por padrão. Após o upload, os dados são apresentados na janela do *app*.

Figura 13 — Aba de upload no App Inventário Nativas

App Inventário de Nativas 2.0.7 Intro **Importação** Mapeamento de variáveis Preparação dos dados Totalização de fustes Análise fitossociológica Quantificação Download

Please import a dataset

Dados

Fazer o upload de um arquivo, ou utilizar o dado de exemplo?

- ☒ Fazer o upload
- ☐ Utilizar o dado de exemplo em nível de fuste
- ☐ Utilizar o dado de exemplo em nível de árvore

Tipo da base de dados:

- ☐ Dados em nível de fuste
- ☒ Dados em nível de árvore
- ☐ Dados em nível de parcela

Informe o formato do arquivo:

- ☒ .csv (Valor separado por vírgulas) ou .txt (arquivo de texto)
- ☐ .xlsx (Excel)

Separador:

- ☒ Vírgula
- ☐ Ponto e Vírgula
- ☐ Tabulação

Decimal:

- ☒ Ponto
- ☐ Vírgula

Selecione o arquivo: (.csv ou .txt)

Browse... No file selected

Fonte: Autor.

Após a importação dos dados, foi necessário implementar na aplicação uma tela para mapeamento das variáveis. Cada usuário tem um padrão para nomear e rotular suas variáveis, por isto a etapa de mapeamento de variáveis torna a aplicação flexível às diferentes formas de organização (Figuras 14 e 15). O usuário associa as colunas da base de dados às variáveis padronizadas do *app*. Por exemplo, o usuário pode ter nomeado a sua coluna referente ao diâmetro a 1,30 do solo como “Dap (cm)”. Na etapa de mapeamento, o usuário deve associar a coluna “Dap (cm)” com a variável do aplicativo “*DAP*”.

O mapeamento é obrigatório para as variáveis: árvore, nome científico e circunferência ou diâmetro à altura do peito. Estas são as variáveis mínimas para que o aplicativo consiga gerar algum tipo de resultado. Uma vez mapeado, todas as demais abas do *app* seguirão as associações indicadas. O *app* foi programado para tentar associar as colunas do arquivo com as variáveis do *app* de forma automática com base no nome da coluna. No entanto, é importante que o usuário confira se a associação está correta, e complete os casos em que o *app* não tenha conseguido realizar a associação (Figuras 14 e 15).

Figura 14 — Aba Mapeamento de variáveis no App Inventário de Nativas, parte 1

App Inventário de Nativas 2.0.7 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação dos dados Totalização de fustes Análise fitossociológica Quantificação Download

Definição dos nomes das variáveis

Árvore Selecione o nome da variável referente à 'Árvore': <small>Esta variável é necessária para o processamento de dados em nível de fuste</small> <input type="text" value="arv"/>	Parcela* Selecione o nome da variável referente à 'Parcela': <input type="text" value="transecto"/>	Espécie* Selecione o nome da variável referente à 'Espécie': <input type="text" value="nome.cient"/>
Circunferência (CAP)* Selecione o nome da variável referente à 'CAP': <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>	Diâmetro (DAP)* Selecione o nome da variável referente à 'DAP': <small>Caso o CAP seja fornecido, o DAP será calculado automaticamente</small> <input type="text" value="dap"/>	Altura total Selecione o nome da variável referente à 'Altura total': <input type="text" value="Htot"/>
Volume com casca Selecione o nome da variável referente à 'Volume com casca': <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>	Área da parcela Selecione o nome da variável referente à 'Área da parcela (m²)': <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>	Área total Selecione o nome da variável referente à 'Área total (ha)': <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>

Fonte: Autor.

Figura 15 — Mapeamento de variáveis no App Inventário de Nativas, parte 2

Circunferência (CAP)* Selecione o nome da variável referente à 'CAP': <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>	Diâmetro (DAP)* Selecione o nome da variável referente à 'DAP': <small>Caso o CAP seja fornecido, o DAP será calculado automaticamente</small> <input type="text" value="dap"/>	Altura total Selecione o nome da variável referente à 'Altura total': <input type="text" value="Htot"/>
Volume com casca Selecione o nome da variável referente à 'Volume com casca': <small>Caso o dado não possua uma coluna de volume, este pode ser calculado na aba 'Preparação'</small> <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>	Área da parcela Selecione o nome da variável referente à 'Área da parcela (m²)': <small>Pode ser informada como valor numérico na aba 'Preparação dos dados'</small> <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>	Área total Selecione o nome da variável referente à 'Área total (ha)': <small>Pode ser informada como valor numérico na aba 'Preparação dos dados'</small> <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>
Estrutura vertical Selecione o método de definição da 'Estrutura vertical': <small>Deseja definir a posição sociológica com base na variável altura, ou inserir uma variável referente à posição sociológica?</small> <input checked="" type="radio"/> Definir <input type="radio"/> Inserir <small>A estrutura vertical será calculada utilizando a variável altura, segundo o método de Souza (2002).</small>	Estrutura interna Selecione o nome da variável referente à 'Estrutura interna': <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>	Estrato Selecione o nome da variável referente à 'Estrato': <input type="text" value="selecione uma coluna abaixo"/>

Fonte: Autor.

A próxima etapa é a preparação dos dados. Nela definem-se os parâmetros que deverão ser considerados durante o processamento do inventário como diâmetro mínimo e intervalo de classe para construção da distribuição diamétrica. É possível ainda remover colunas e filtrar dados. Caso o usuário deseje, é possível ainda realizar a consistência dos dados.

Algoritmos especialmente implementados buscam inconsistências associadas às variáveis altura e diâmetro, nome de espécie repetidos, espécies vazias, espécies com espaço vazio no final da frase, dentro outros. Os resultados inconsistentes são apresentados, porém caberá sempre ao usuário decidir se esses devem ser removidos, corrigidos ou mantidos (Figura 16).

Figura 16 — Aba de preparação de dados do App Inventário de Nativas

App Inventário de Nativas 2.0.7 | Intro | Importação | Mapeamento de variáveis | **Preparação dos dados** | Totalização de fustes | Análise fitossociológica | Quantificação | Download

Preparação dos dados

Dado pos preparação | Dados inconsistentes

Show 10 entries

	codigo	transecto	arv	nome.comum	nome.cient	familia	dap	tipo	pos.cope	lum
1	CAU_A01	T01	2	macucu	Licania guianensis	Chrysobalanaceae	10.3	O	S	
2	CAU_A01	T01	5	casca seca	Licania canescens	Chrysobalanaceae	14.6	O	S	
3	CAU_A01	T01	6	cajuacu	Anacardium spruceanum	Anacardiaceae	78.8	O	E	
4	CAU_A01	T01	7	breu branco	Protium paniculatum	Burseraceae	14.7	O	S	
5	CAU_A01	T01	9	breu branco	Protium paniculatum	Burseraceae	10.6	O	E	
6	CAU_A01	T01	10	caramuxi	Pouteria hispida	Sapotaceae	27.1	O	C	
7	CAU_A01	T01	12	casca seca	Licania canescens	Chrysobalanaceae	15.1	O	E	
8	CAU_A01	T01	13	jatereu	Lecythis idatimon	Lecythidaceae	16.5	O	S	
9	CAU_A01	T01	14	jatereu	Lecythis idatimon	Lecythidaceae	12	O	S	
10	CAU_A01	T01	15	parajuba	Manilkara bidentata	Sapotaceae	38.4	O	C	

Intervalo de classe

Insira o intervalo de classe:

Diâmetro mínimo

Insira o diâmetro mínimo:

Espécie não-identificada

Selecione o(s) índice(s) referente(s) às espécies não identificadas:

Transformar zero em NA

Transformar zeros em variáveis numéricas em NA? (recomendado)

☒ Sim ☐ Não

Filtrar dados

Selecione a coluna que se deseja filtrar:

Fonte: Autor.

A área da parcela e área total amostrada, caso não tenham sido mapeados, deverão ser inseridos nesta etapa de preparação (Figura 17). Ainda na aba de preparação, é possível estimar o volume das árvores utilizando um dos modelos retirados da literatura (Tabela 1). Esta etapa só será necessária, caso não haja a informação de volume na base de dados. Se o usuário mapear uma variável referente ao volume na aba de mapeamento, esta opção ficará oculta.

Após escolher o modelo, o usuário deve digitar os valores dos coeficientes referentes àquele modelo. Os mesmos modelos disponíveis no App Inventário de Nativas podem ser ajustados no App Cubagem, caso tenham dados de cubagem disponíveis. Dentre os modelos disponíveis podem ser encontrados alternativas lineares e não-lineares, alternativas de uma entrada (a variável diâmetro) e dupla entrada (altura e diâmetro).

Figura 17 — Caixas adicionais da aba Preparação no App Inventário de Nativas

Área da parcela (m²) (numérico)

Insira o valor para a Área da parcela:

Área total (ha) (numérico)

Insira o valor para a Área total:

Estimação do volume com casca

Selecione o modelo para ser utilizado:

☒ $\text{LN}(\text{VFCC}) = b_0 + b_1 * \text{LN}(\text{DAP}) + b_2 * \text{LN}(\text{HT}) + e$

☐ $\text{VFCC} = b_0 + b_1^{\text{DAP}} + b_2^{\text{HT}} + e$

☐ $\text{VFCC} = b_0 + b_1 * \text{DAP}^2 + e$

☐ $\text{VFCC} = b_0 + b_1 * \text{DAP} + b_2 * \text{DAP}^2 + e$

☐ $\text{LN}(\text{VFCC}) = b_0 + b_1 * \text{DAP} + b_2 * \text{DAP}^2 + e$

☐ $\text{LN}(\text{VFCC}) = b_0 + b_1 * \text{LN}(\text{DAP}) + e$

☐ $\text{LN}(\text{VFCC}) = b_0 + b_1 * \text{LN}(\text{DAP}^2 * \text{HT}) + e$

☐ $\text{VFCC} = b_0 + b_1 * \text{DAP}^2 * \text{HT} + e$

Insira o valor para o b0:

Insira o valor para o b1:

Insira o valor para o b2:

Fonte: Autor.

Foi necessário a inclusão da aba “Totalização de fustes” para lidar com bases de dados que sejam informadas em nível de fuste. Sendo este o caso, o *app* fará a totalização dos dados, reduzindo ao nível de árvore e apresentando a base em nível de árvore nesta aba (Figura 18). É importante salientar que esta aba só apresentará algum resultado para bases de dados em nível de fuste.

Figura 18 — Totalização de dados em nível de fuste no App Inventário de Nativas

App Inventário de Nativas 2.0.7 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação dos dados Totalização de fustes Análise fitossociológica Quantificação Download

Totalização de fustes

Show 10 entries

	Parcela	Especie	NP	DAP
1	12	Fabaceae sp.1	1635	12.1594
2	12	Indeterminada	1	15.629
3	12	Indeterminada	6	11.1408
4	12	Indeterminada	28	10.5361
5	13	Fabaceae sp.1	1833	10.8225
6	13	Indeterminada	90	10.8225
7	13	Roupala montana	1824	10.0586
8	13	tachigali rugosa	1817	10.6634
9	14	Anacardiaceae1	2096	14.9606
10	14	Indeterminada	160	12.0321

Showing 1 to 10 of 26 entries

Previous 1 2 3 Next

Fonte: Autor.

Na próxima aba foram agrupadas as análises fitossociológicas que incluem os índices de diversidade, os índices de similaridade, os índices de agregação e a análise estrutural. Os índices de diversidade de Shannon, Simpson, Piellou e Jentsch são apresentados para toda a base, mas podem também ser calculados em função de uma variável qualitativa como parcela, ou sítio (Figura 19). A matriz de similaridade de Jaccard e Sorensen (Figura 20) são calculados entre parcelas (ou outra variável qualitativa), assim como seus respectivos dendrogramas (Figura 21). Já os índices de agregação de Payandeh, Hazen e Morisita são calculados por espécie (Figura 22).

Figura 19 — Cálculo dos índices de diversidade no App Inventário de Nativas

App Inventário de Nativas 2.0.7 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação dos dados Totalização de fustes Análise fitossociológica Quantificação Download

Índices de diversidade

Calcular diversidade por parcela?
☐ Sim ☒ Não

	Shannon	Simpson	EqMaxima	Pielou	Jentsch
1	3.9	0.95	5.15	0.76	0.01

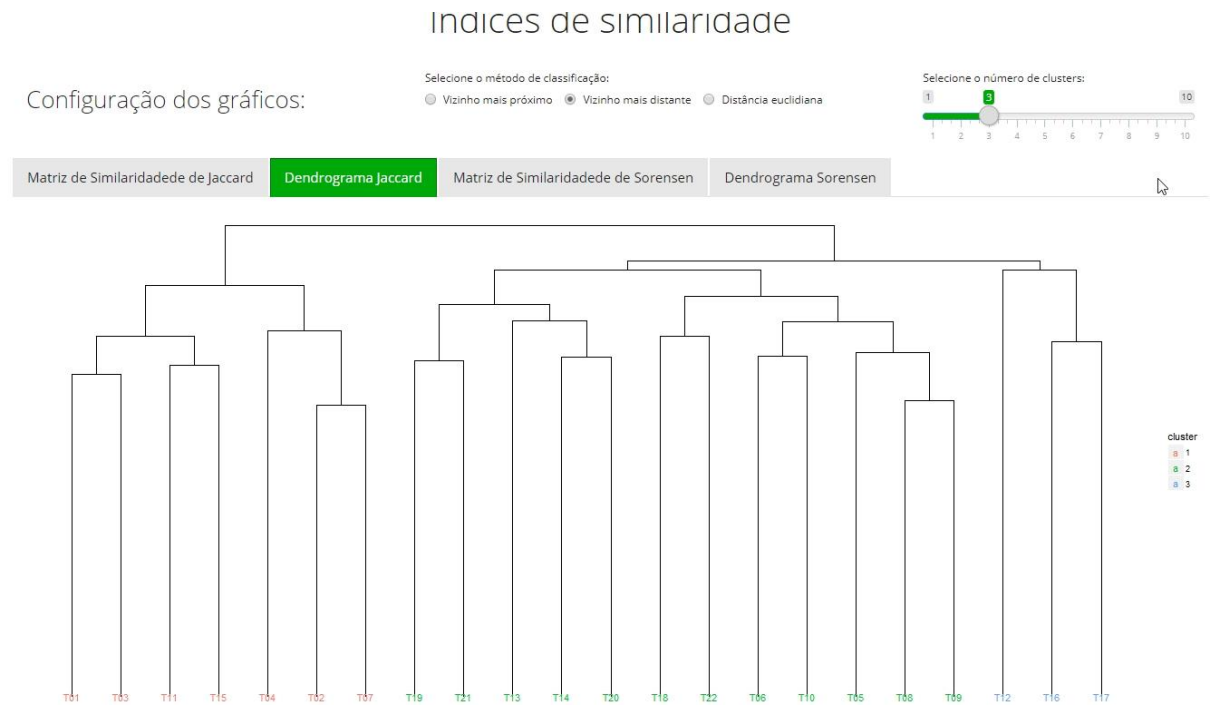
Fonte: Autor.

Figura 20 — Cálculo dos índices de similaridade no App Inventário de Nativas



Fonte: Autor.

Figura 21 — Exemplo de dendrograma criado no App Inventário de Nativas



Fonte: Autor.

Figura 22 — Cálculo dos índices de agregação no App Inventário de Nativas

App Inventário de Nativas 2.0.7

Intro

Importação

Mapeamento de variáveis

Preparação dos dados

Totalização de fustes

Análise fitossociológica

Quantificação

Download

Índices de agregação

Show 10 entries

Search:

	especie	Payandeh	Pay.res	Hazen	Haz.res	Morisita	Mor.res
1	Abarema cochleata	0.9	Regular	18	Não agregado	0	Rara
2	Abarema jupunba	0.9	Regular	19	Não agregado	0	Rara
3	Abuta grandifolia	16	Agregado	336.7	Agregado	11.9	Agregado
4	Alouea sp.	9.5	Agregado	200	Agregado	10.4	Agregado
5	Ambelania acida	10	Agregado	210	Agregado	22	Agregado
6	Anacardium spruceanum	9.3	Agregado	195.4	Agregado	7.7	Agregado
7	Aniba canellilla	9.1	Agregado	191	Agregado	18	Agregado
8	Aniba parviflora	10	Agregado	210	Agregado	22	Agregado
9	Annona ambotay	1	Aleatório	21	Não agregado	0	Rara
10	Annona sp.	9	Agregado	190	Agregado	6.8	Agregado

Showing 1 to 10 of 172 entries

Previous

1

2

3

4

5

...

18

Next

Fonte: Autor.

A análise das estruturas da floresta inclui a estrutura horizontal contendo informações de frequência, densidade e dominância (absoluta e relativa), Valor de Cobertura (*IVC*) e Valor de Importância (*IVI*). É possível gerar um gráfico com as *n* espécies com maior *IVI*, onde *n* é o número de espécies mostradas no gráfico, valor que por padrão é 10 (Figuras 23, 24 e 25). Este é um gráfico muito utilizado em relatórios técnicos para se visualizar as espécies mais importantes da área. Se a base de dados permitir, é possível obter informações referentes à estrutura vertical e à estrutura interna.

Figura 23 — Análise estrutural App Inventário de Nativas

App Inventário de Nativas 2.0.7

Intro

Importação

Mapeamento de variáveis

Preparação dos dados

Totalização de fustes

Análise fitossociológica

Quantificação

Download

Análise estrutural

Configuração do gráfico

IVl:

Número de espécies no eixo y:

10

Gráfico em tons de cinza?

Sim

Nao

Análise estrutural

Gráfico IVI

Gráfico estrutura vertical

Show 10 entries

Search:

	especie	FA	FR	DA	DR	DoA	DoR	IVC	IVI
1	Abarema cochleata	18.1818	0.3918	0.1818	0.0343	0.0359	0.1374	0.0859	0.1878
2	Abarema jupunba	13.6364	0.2938	0.1364	0.0258	0.0302	0.1156	0.0707	0.1451
3	Abuta grandifolia	9.0909	0.1959	1.3636	0.2576	0.0162	0.0621	0.1599	0.1719
4	Alouea sp.	9.0909	0.1959	0.9091	0.1717	0.0413	0.1581	0.1649	0.1752
5	Ambelania acida	4.5455	0.0979	0.4545	0.0859	0.0038	0.0145	0.0502	0.0661
6	Anacardium spruceanum	27.2727	0.5877	1.2273	0.2319	0.1588	0.6084	0.4201	0.476
7	Aniba canellilla	9.0909	0.1959	0.5	0.0945	0.0103	0.0396	0.067	0.11
8	Aniba parviflora	4.5455	0.0979	0.4545	0.0859	0.0048	0.0184	0.0521	0.0674
9	Annona ambotay	4.5455	0.0979	0.0455	0.0086	0.0046	0.0174	0.013	0.0413
10	Annona sp.	13.6364	0.2938	1.3636	0.2576	0.0114	0.0439	0.1507	0.1984

Showing 1 to 10 of 172 entries

Previous

1

2

3

4

5

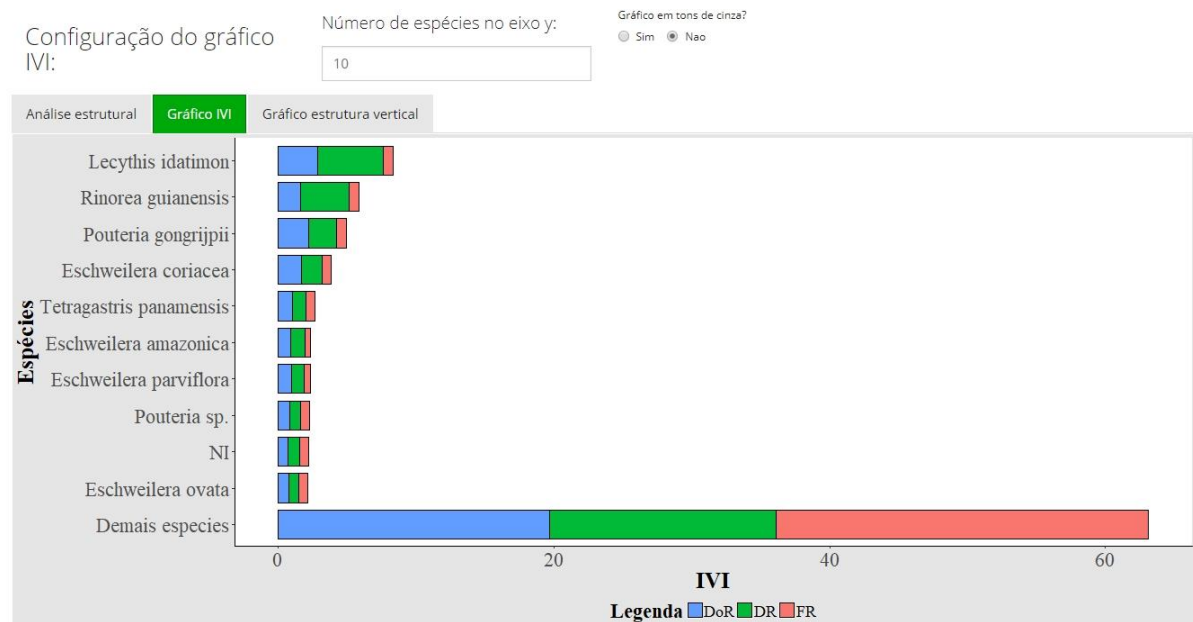
...

18

Next

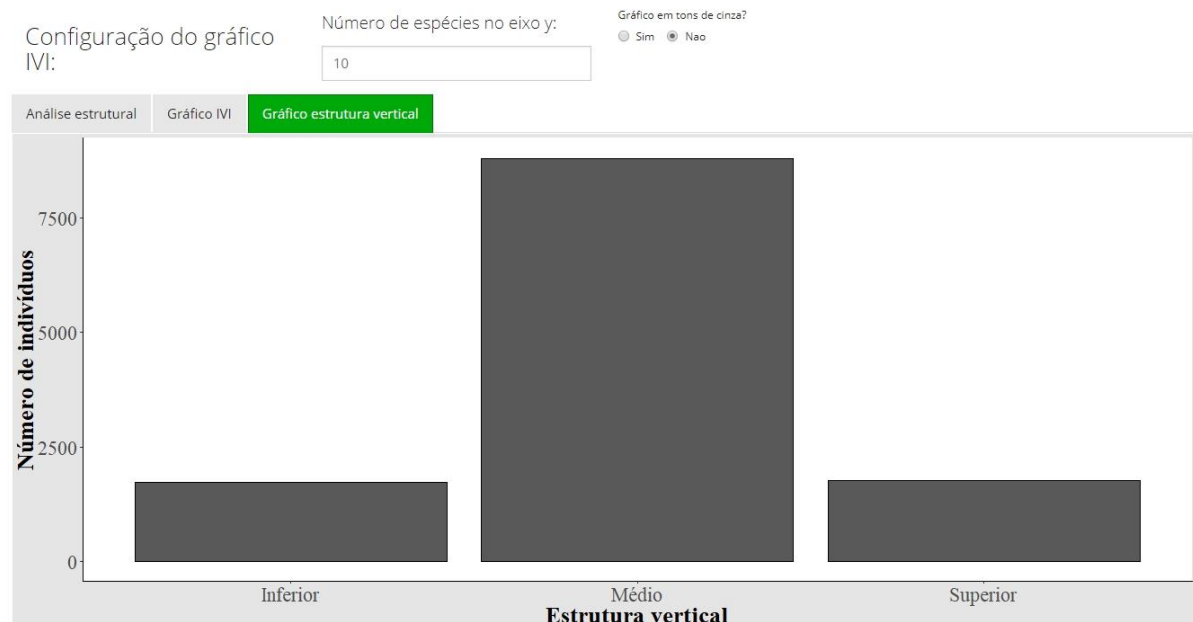
Fonte: Autor.

Figura 24 — Gráfico das 10 espécies com maior IVI no App Inventário de Nativas
Análise estrutural



Fonte: Autor.

Figura 25 — Gráfico da estrutura vertical no App Inventário de Nativas
Análise estrutural



Fonte: Autor.

Na aba denominada Quantificação foram agrupadas as análises do inventário florestal propriamente dito. Na primeira sub-aba apresenta-se a distribuição diamétrica, contendo tanto tabelas, quanto gráficos apresentando a distribuição dos dados geral e por espécie. Diferentes variáveis podem ser analisadas considerando o centro de classe, sendo elas:

número de indivíduos por hectare, volume por hectare e área basal por hectare (Figuras 26 a 32). Ainda com base na distribuição diamétrica, a distribuição ideal considerando o método *BDq* é apresentado. Como saída, o *app* apresenta uma tabela e um gráfico demonstrando a distribuição observada e balanceada da floresta (Figuras 33, 34 e 35).

Figura 26 — Tabela da distribuição diamétrica no App Inventário de Nativas

Distribuição diamétrica (DD)

Distribuição diamétrica Geral		Distribuição diamétrica dos indivíduos por ha por espécie		Distribuição diamétrica do volume por ha por espécie			
Distribuição diamétrica de G por ha por espécie		Gráfico dos indivíduos por ha por classe diamétrica		Gráfico do volume por ha por classe diamétrica			
Gráfico de G por ha por classe diamétrica							
CC	NumIndv	IndvHA	G	G_ha	volume	volume_ha	DR
15	7360	334.5	118.98	5.41	2719.65	123.62	59.86
25	2760	125.5	128.84	5.86	1743.57	79.25	22.45
35	1032	46.9	96.73	4.4	908.65	41.3	8.39
45	510	23.2	80.6	3.66	598.87	27.22	4.15
55	276	12.5	64.88	2.95	388.41	17.65	2.24
65	106	4.8	35.56	1.62	174.99	7.95	0.86
75	57	2.6	25.38	1.15	107.42	4.88	0.46
85	44	2	24.94	1.13	94.43	4.29	0.36
95	20	0.9	14.12	0.64	42.84	1.95	0.16
105	7	0.3	6.25	0.28	17.67	0.8	0.06
115	4	0.2	4.15	0.19	9.34	0.42	0.03
125	3	0.1	3.61	0.16	9.46	0.43	0.02
135	1	0	1.54	0.07	3.68	0.17	0.01
145	1	0	1.7	0.08	3.17	0.14	0.01
155	2	0.1	3.57	0.16	7.58	0.34	0.02
165	1	0	2.11	0.1	4.15	0.19	0.01

Fonte: Autor.

Figura 27 — Tabela da distribuição diamétrica nº de indivíduos por ha por espécie no

App Inventário Nativas

Distribuição diamétrica (DD)

Distribuição diamétrica Geral				Distribuição diamétrica dos indivíduos por ha por espécie								Distribuição diamétrica do volume por ha por espécie								
Distribuição diamétrica de G por ha por espécie				Gráfico dos indivíduos por ha por classe diamétrica								Gráfico do volume por ha por classe diamétrica								
Gráfico de G por ha por classe diamétrica																				
nome.cient	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	Total
Abarema cochleata				0.1	0.1															0.2
Abarema jupunba					0.1															0.1
Abuta grandifolia	1.4																			1.4
Alouea sp.	0.5		0.5																	1
Ambelania acida	0.5																			0.5
Anacardium spruceanum	0.5	0.5				0.1	0.1													1.2
Aniba canellilla	0.5																			0.5
Aniba parviflora	0.5																			0.5
Annona ambotey																				
Annona sp.	1.4																			1.4
Apelba membranacea																				
Apelba petoumo	0.5																			0.5
Aspidosperma excelsum									0.1											0.1
Aspidosperma parvifolium	4.1																			4.1
Aspidosperma spruceanum	0.9		0.1																	1
Astronium graveolens		0.5		0.1	0.1	0.1			0.1											0.9

Fonte: Autor.

Figura 28 — Tabela da distribuição diamétrica do volume por ha por espécie no App Inventário Nativas

Distribuição diamétrica (DD)

Distribuição diamétrica Geral			Distribuição diamétrica dos indivíduos por ha por espécie								Distribuição diamétrica do volume por ha por espécie										
Distribuição diamétrica de G por ha por espécie				Gráfico dos indivíduos por ha por classe diamétrica								Gráfico do volume por ha por classe diamétrica									
Gráfico de G por ha por classe diamétrica																					
nome.cient	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	Total	
Abarema cochleata				0.111	0.1288															0.2397	
Abarema jupunba				0.059	0.1336															0.1926	
Abuta grandifolia	0.3993																			0.3993	
Aiouea sp.	0.1379		0.3113																	0.4492	
Ambelania acida	0.1195																			0.1195	
Anacardium spruceanum	0.2342	0.2539	0.0451			0.1619	0.2801		0.1204											1.0955	
Aniba canellilla	0.1168			0.0527																0.1695	
Aniba parviflora	0.1372																			0.1372	
Annona ambotay			0.0532																	0.0532	
Annona sp.	0.4007																			0.4007	
Apeiba membranacea			0.0461	0.0417																0.0878	
Apeiba petoumo	0.2334			0.0575																0.2909	
Aspidosperma excelsum					0.065	0.0749			0.2333			0.1455								0.5187	

Fonte: Autor.

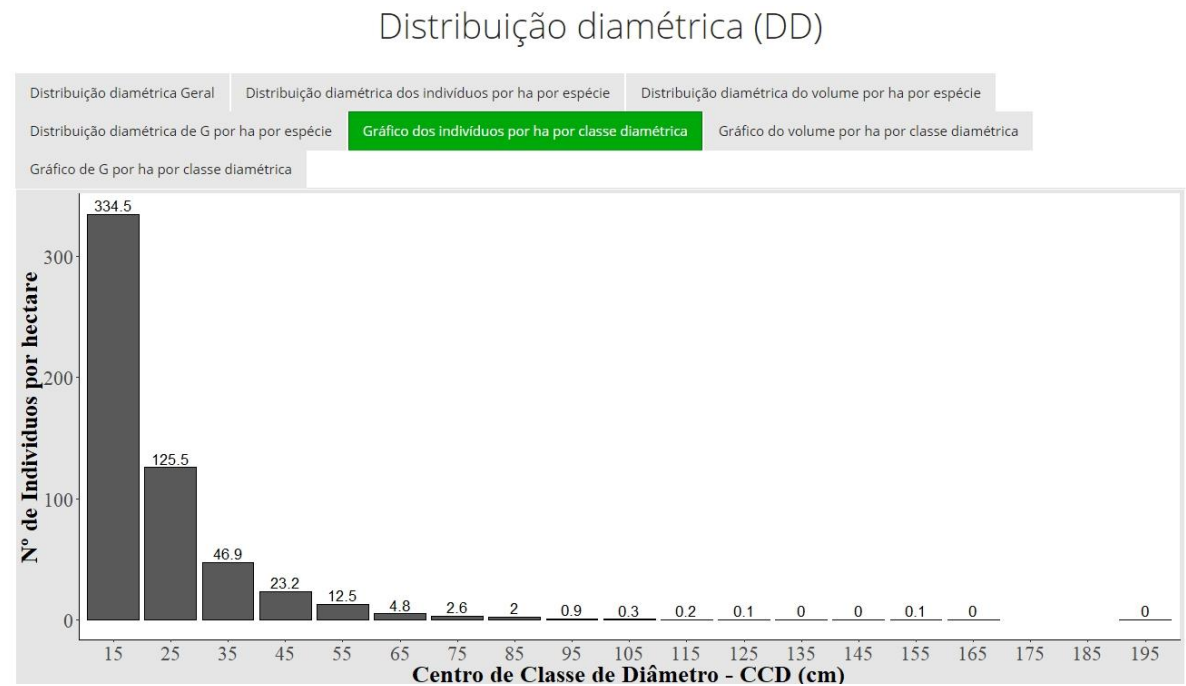
Figura 29 — Tabela da distribuição diamétrica da área basal por ha por espécie no App Inventário Nativas

Distribuição diamétrica (DD)

Distribuição diamétrica Geral				Distribuição diamétrica dos indivíduos por ha por espécie							Distribuição diamétrica do volume por ha por espécie									
Distribuição diamétrica de G por ha por espécie				Gráfico dos indivíduos por ha por classe diamétrica							Gráfico do volume por ha por classe diamétrica									
Gráfico de G por ha por classe diamétrica																				
nome.cient	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	Total
Abarema cochleata				0.0158	0.0201															0.0359
Abarema jupunba				0.0083	0.0219															0.0302
Abuta grandifolia	0.0162																			0.0162
Aiouea sp.	0.0042		0.037																	0.0413
Ambelania acida	0.0038																			0.0038
Anacardium spruceanum	0.0124	0.0154	0.0047			0.0311	0.0637		0.0315											0.1588
Aniba canellilla	0.0038			0.0065																0.0103
Aniba parviflora	0.0048																			0.0048
Annona ambotay			0.0045																	0.0045
Annona sp.	0.0114																			0.0114
Apeiba membranacea			0.0045	0.0062																0.0107
Apeiba petoumo	0.0107			0.0064																0.017
Aspidosperma excelsum					0.0093	0.0145			0.0598			0.0549								0.1385

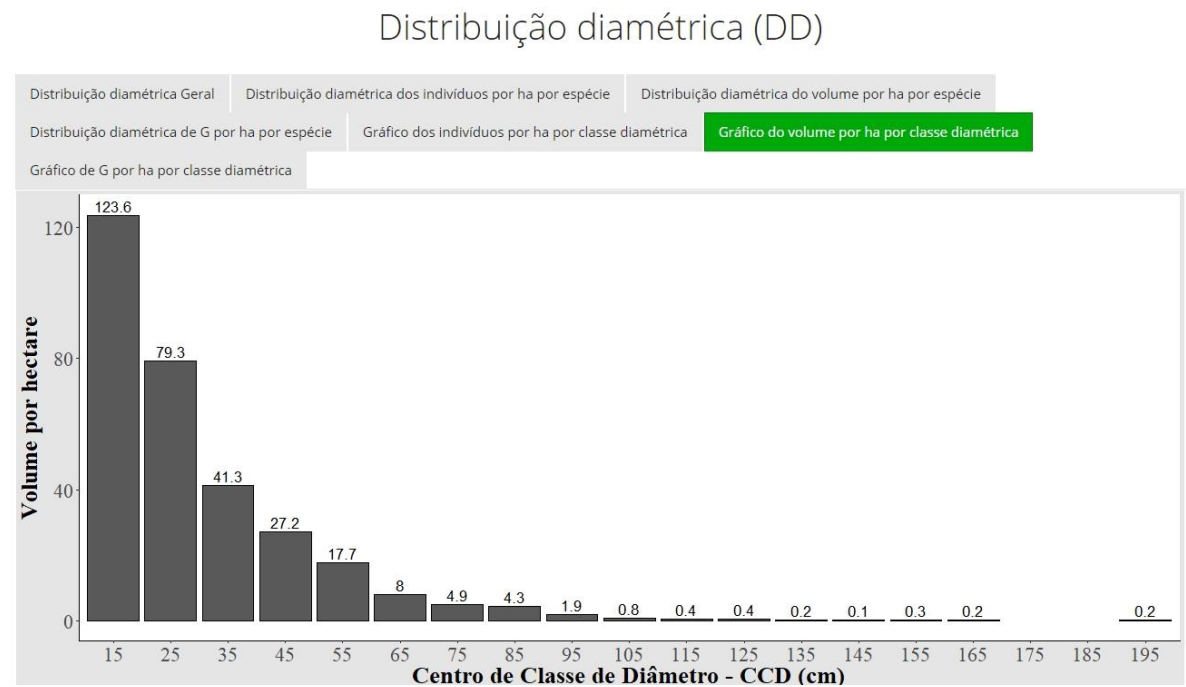
Fonte: Autor.

Figura 30 — Gráfico dos indivíduos por ha por classe diamétrica no App Inventário de Nativas



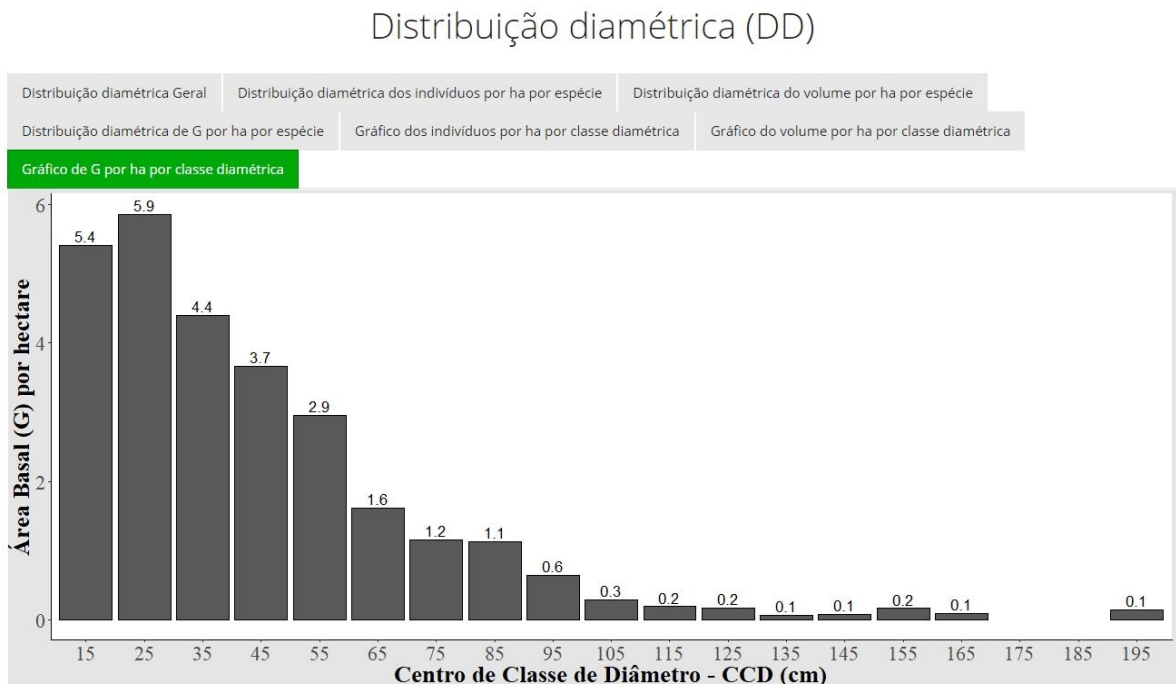
Fonte: Autor.

Figura 31 — Gráfico do volume por ha por classe diamétrica no App Inventário de Nativas



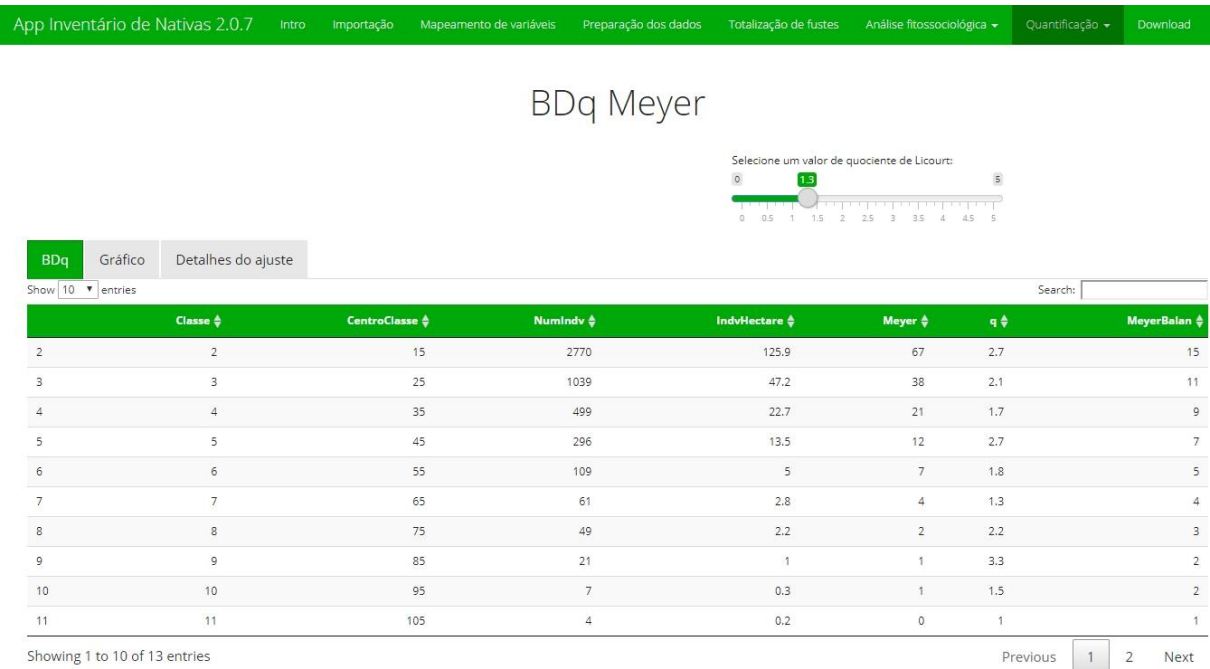
Fonte: Autor.

Figura 32 — Gráfico da área basal por ha por classe diamétrica no App Inventário de Nativas



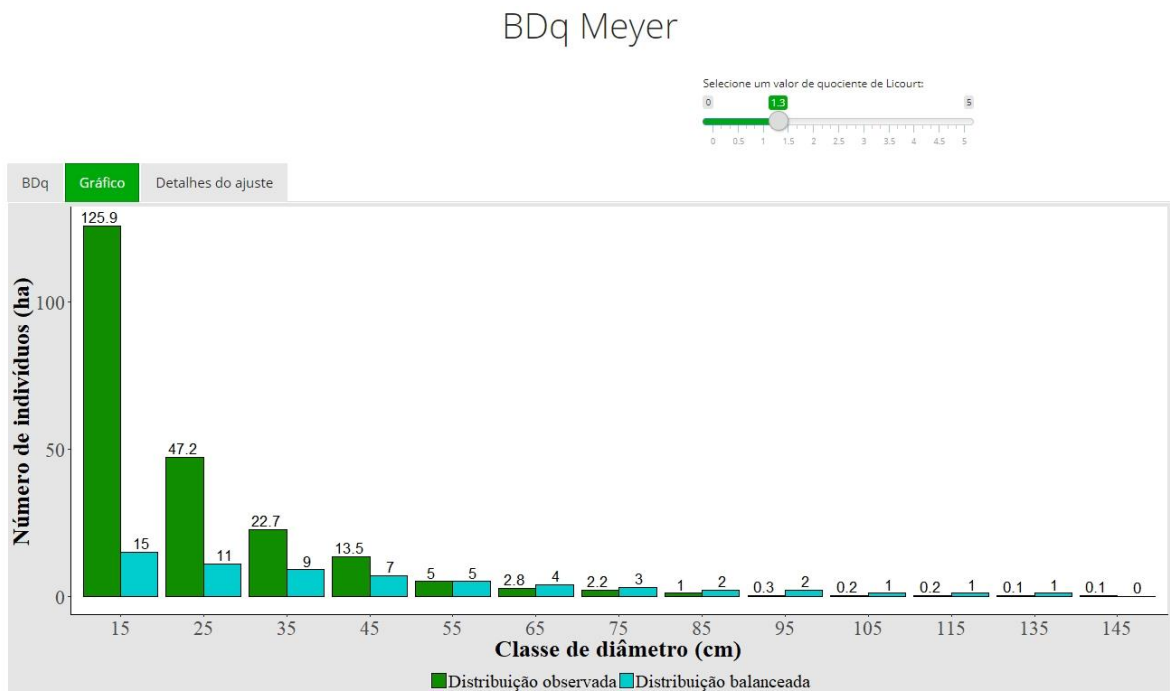
Fonte: Autor.

Figura 33 — Aplicação do método *BDq* de Meyer no App Inventário de Nativas



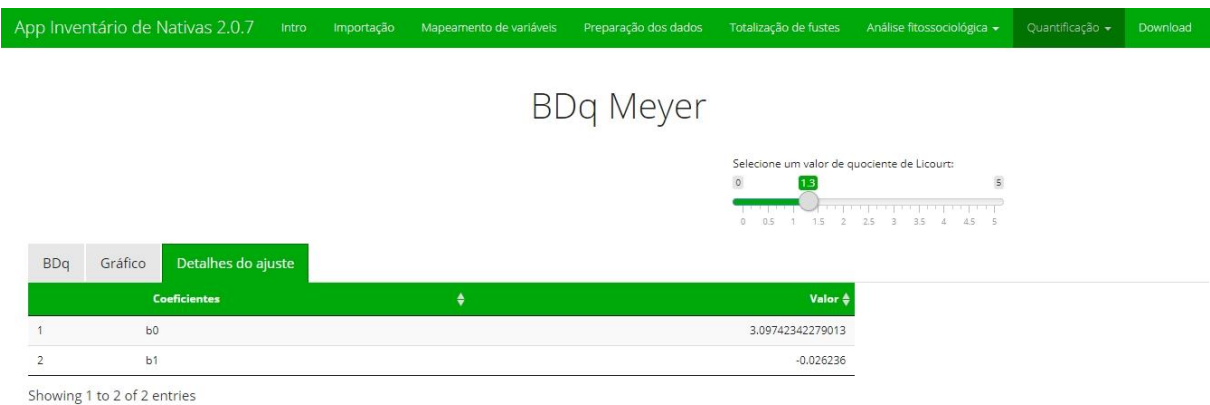
Fonte: Autor.

Figura 34 — Gráfico das distribuições observada e balanceada dos dados no App Inventário de Nativas



Fonte: Autor.

Figura 35 — Valores dos coeficientes estimados pelo método *BDq* no App Inventário de Nativas

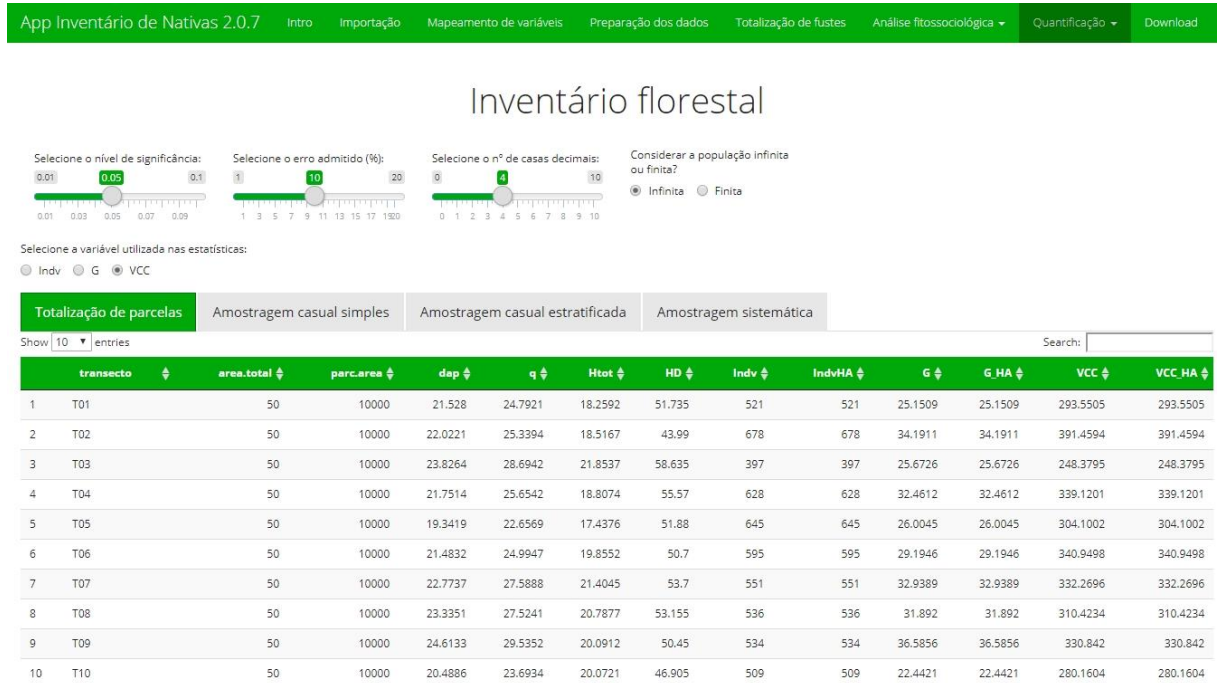


Fonte: Autor.

Ainda na aba Quantificação, o inventário florestal é processado e os resultados estatísticos apresentados. Os resultados são organizados em abas contendo a totalização das parcelas (Figura 36), seguido pelos diferentes métodos de estimativa populacional: casual simples, casual estratificada, ou sistemática (Figuras 37 e 38). É possível definir o nível de significância a ser utilizado para o cálculo do intervalo de confiança (por padrão definido como 5%), o erro admitido para calcular o número mínimo de parcelas, e o tipo de população (finita ou infinita). Como resultado, são apresentadas estatísticas como erro-padrão da média, erro relativo do inventário, erro absoluto do inventário e intervalos de confiança. Além disso, os

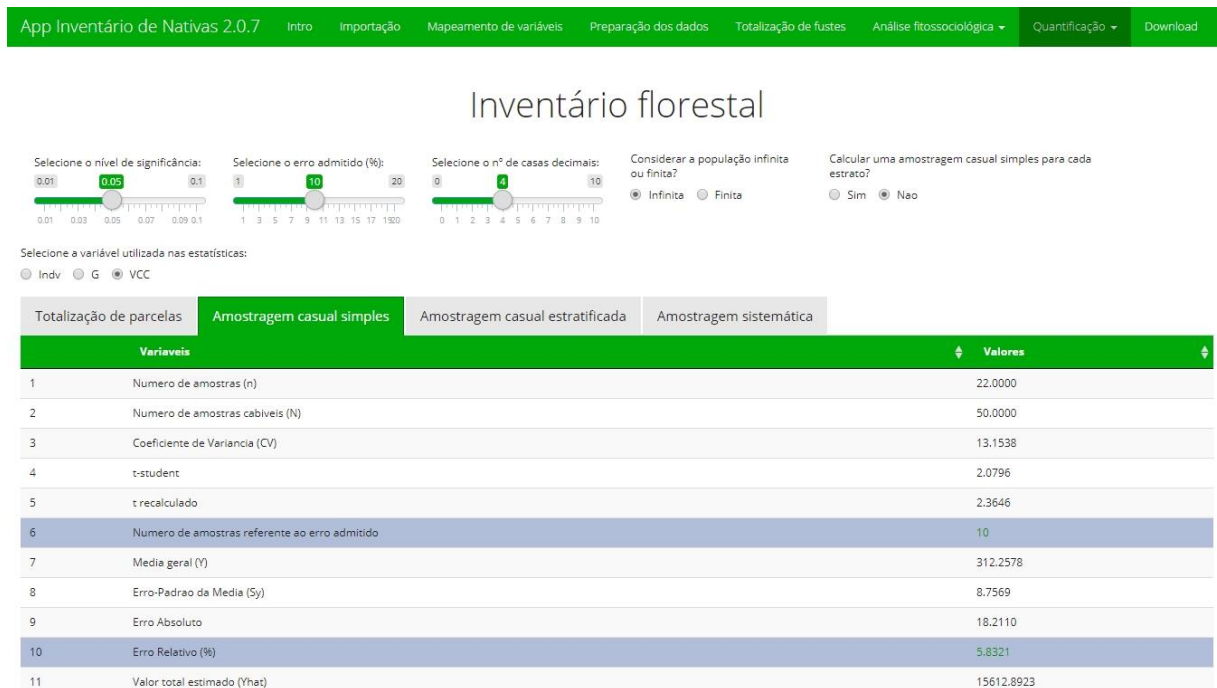
métodos de amostragem sistemática e amostragem casual simples podem ser feitas para mais de um sítio, ou talhão, por exemplo. Gerando um relatório de vários inventários simultâneos.

Figura 36 — Totalização das parcelas no App Inventário de Nativas



Fonte: Autor.

Figura 37 — Inventário Casual Simples no App Inventário de Nativas



Fonte: Autor.

Figura 38 — Amostragem Sistemática no App Inventário de Nativas

App Inventário de Nativas 2.0.7 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação dos dados Totalização de fustes Análise fitossociológica ▾ Quantificação ▾ Download

Inventário florestal

Selecione o nível de significância: (0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09)
 Selecione o erro admitido (%): (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 20)
 Selecione o n° de casas decimais: (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
 Considerar a população infinita ou finita? ☒ Infinita ☐ Finita
 Calcular uma amostragem sistemática para cada estrato? ☐ Sim ☒ Não

Selecione a variável utilizada nas estatísticas:
☐ Indv ☐ G ☒ VCC

Totalização de parcelas

Amostragem casual simples

Amostragem casual estratificada

Amostragem sistemática

	Variáveis	Valores
1	Numero de Parcelas (n)	22.0000
2	Numero de Parcelas cabíveis (N)	50.0000
3	Coefficiente de Variância (CV)	13.1538
4	t-student	2.0796
5	t-student recalculado	2.3646
6	Numero de amostras referente ao erro admitido	10
7	Media geral (ȳ)	312.2578
8	Erro-Padiao da Media (Sy)	7.2064
9	Erro Absoluto	14.9865
10	Erro Relativo (%)	4.7994
11	Volume total estimado (Yhat)	15612.8923

Fonte: Autor.

Na aba *Download*, foram implementadas opções para realizar a exportação das análises realizadas. Mesmo análises que não foram visualizadas pelo usuário podem ser exportadas (Figuras 39 e 40).

Figura 39 — Download de tabelas no App Inventário de Nativas

App Inventário de Nativas 2.0.7 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação dos dados Totalização de fustes Análise fitossociológica ▾ Quantificação ▾ Download

Download dos resultados

Download de tabelas

Download de graficos

Download de tabelas

Escolha uma ou mais tabelas, e clique no botão abaixo:

☐ Dados inconsistentes
 ☐ Dado nivel arvore
 ☐ Indice diversidade
 ☐ Matriz similaridade - Jaccard
 ☐ Matriz similaridade - Sorensen
 ☐ Indice de agregacao
 ☐ Estrutura
☐ Distribuicao diametrica geral
☐ Dist. Diametrica Indv. por especie
☐ Dist. Diametrica Vol. por especie
☐ Dist. Diametrica G por especie
☐ BDq Meyer
☐ BDq Meyer - Coeficientes
☒ Totalizacao de parcelas
☒ Amostragem Casual Simples
☐ Amostragem Casual Estrat 1
☐ Amostragem Casual Estrat 2
☐ Amostragem Sistemática

Ou, para baixar todas as tabelas disponíveis, clique abaixo:

Fonte: Autor.

Figura 40 — Download de gráficos no App Inventário de Nativas



Fonte: Autor.

O *web app* App Inventário de Nativas foi carregado no servidor contratado, e disponibilizado online por meio de um ip fixo. Desde a publicação de sua versão beta em 2017, o aplicativo já conta com uma média de 100 acessos por semana, e vêm sendo utilizado por professores, alunos e profissionais da área.

5 CONCLUSÃO

O aplicativo App Inventário de Nativas foi criado com sucesso e já tem sido utilizado pela comunidade. O acesso via browser tem sido um atrativo já que não há a necessidade de instalação.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 5^a ed. Viçosa: UFV, 2017.

IMAÑA-ENCINAS, J. et al. Equações de volume de madeira para o cerrado de planaltina de Goiás. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 107–116, 2009.

MAZAROTTO, E. B. **Modelos matemáticos para estimar o volume em metros cúbicos**

com casca de Bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth.) em diferentes idades. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1989.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2012.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas Nativas: estrutura, dinâmica e manejo.** Viçosa: UFV, 2013.

SOUZA, D. R. DE; SOUZA, A. L. DE. Emprego do método BDq de seleção após a exploração florestal em floresta ombrófila densa de terra firme, Amazônia oriental. **R. Árvore**, v. 29, n. 4, p. 617–625, 2005.

CAPÍTULO 2

App Cubagem — APLICAÇÃO WEB PARA PROCESSAMENTO DE DADOS DE CUBAGEM

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi criar uma aplicação web para processamento de dados de cubagem utilizando linguagem R em uma plataforma online. Inicialmente o aplicativo apresenta uma tela de introdução, e após isso, na aba de *upload*, o usuário tem a opção de fazer o upload dos seus dados, ou utilizar um dos dados de exemplo. Caso o usuário deseje inserir os seus próprios dados, estes devem estar em nível de seção ou árvore, caso contrário serão incompatíveis com as análises. O formato do arquivo de entrada pode ser valores separados por vírgula (comma separated values – CSV), ou em planilha eletrônica .xlsx, formato padrão do Microsoft Excel 2007 e superior. Após o upload, os dados podem ser visualizados dentro do *web app*. A próxima etapa, é o mapeamento de variáveis onde o usuário irá definir quais colunas dos seus dados são referentes às variáveis utilizadas pelo *web app*. Isso será feito com todas as variáveis que o *web app* utiliza, como diâmetro da seção, altura da seção, diâmetro, etc. Esse processo é feito apenas uma vez. A próxima etapa é a preparação dos dados, onde são definidos alguns valores, como diâmetro mínimo e intervalo de classe para gráficos de classe diamétrica que serão feitos futuramente, remoção de colunas e filtragem de dados. Nesta etapa também é possível realizar a consistência dos dados, e converter algumas variáveis caso seja necessário. Na próxima aba, chamada “Cálculo de volume”, caso o dado do usuário seja em nível de seção, este é processado e tem o seu volume com casca calculado por árvore, de acordo com o método de cubagem utilizado. Se o usuário mapear a variável referente a “espessura da casca”, o volume sem casca também é calculado. Em seguida é feita a análise descritiva dos dados. Está inclui a distribuição diamétrica dos dados, gráficos de número de indivíduos, volume com casca e volume sem casca por classe diamétrica, entre outros. Na próxima etapa, três modelos volumétricos são ajustados, e seus coeficientes e variáveis de qualidade são apresentados, além de gráficos de resíduos para cada modelo. Por fim, a aba de downloads permite ao usuário fazer o download dos resultados. O aplicativo App Cubagem foi criado com sucesso, e pode ser acessado remotamente por meio de um navegador de internet.

Palavras-chave: Shiny, R, mensuração florestal.

CAPÍTULO 2

App Cubagem - WEB APPLICATION FOR PROCESSING VOLUMETRIC DATA FROM FORESTS

ABSTRACT

The aim of this study was to create a web app for processing volumetric data from forests using R language in an online platform. Initially the app shows an introduction screen, and after that, in the upload tab, the user has the option to either upload their data or use a built-in example. If the user chooses to upload their own data, the data must be organized in a way that each line must be either a tree section or a tree, otherwise it will not be compatible with the app. The entry format can be either comma separated values (.csv) or spreadsheets (.xlsx), the standard Microsoft Excel format. After the upload, the data is shown inside the app. The next step is the variable mapping, where the user defines which columns from their data represents each variable used by the app. This will be done with all variables that the app uses, like section diameter, section height or diameter at breast height, etc. This process is done only once. The next step is data preparation, where some values are defined, such as minimum diameter for class interval, used in plots of diametric class, data filtering, and more. In this step is also possible to consist the data, and make any necessary conversions. In the next tab, named “Cálculo de volume”, if the user’s data is in section level, the volume of each tree is calculated, according to the defined volume calculation method. If the user maps the bark thickness variable, volume without bark is also calculated. Next a descriptive analysis is done. This includes diametric distribution, plots for number of individuals, volume and basal area by diametric class, among others. In the next step, three volumetric volumes are fit, and their coefficients and quality of fit variables are shown, in addition to plots for residuals of each model. And finally we have a download tab, where all results can be download by the user. The app Cubagem was created successfully and can be accessed remotely using a web browser.

Keywords: Shiny, R, forest mensuration.

1 INTRODUÇÃO

Para estimativas de volume de parcelas em inventários florestais são utilizados dados provenientes de cubagem rigorosa em árvores abatidas ou em pé, procurando-se obter maior exatidão nas análises (OLIVEIRA et al., 2009).

A exatidão das estimativas volumétricas é essencial tanto para inventários florestais, quanto para trabalhos de manejo de florestas. Caso o modelo não seja ajustado adequadamente, ou não seja o ideal para aquela base de dados, todo o plano de manejo de uma área pode ser comprometido, ou a estimativa do intervalo de confiança de uma área pode ser errada.

Com o App Cubagem o usuário pode calcular o volume de árvores cubadas utilizando os métodos de Smalian ou Huber (CAMPOS; LEITE, 2017), realizar análises descritivas e ajustar modelos volumétricos utilizando estes dados.

2 OBJETIVOS

Criar uma aplicação *web* para processamento de dados de cubagem utilizando linguagem R em uma plataforma online.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O App Cubagem foi construído seguindo o fluxograma de processamento e análise de dados usualmente aplicada em cubagem rigorosa de árvores.

Equações de árvore individual costumam ser utilizadas na estimativa de volume de parcelas em inventários florestais. Para obter maior exatidão nessas estimativas, estas equações devem ser compatíveis com a população amostrada, muitas vezes sendo ajustadas equações por espécie, espaçamento ou regime de corte. Em alguns casos, dependendo da homogeneidade dos dados, uma equação pode ser usada para toda a população (CAMPOS; LEITE, 2017). A obtenção dessas equações é feita por meio de dados provenientes da cubagem rigorosa.

A seleção das árvores-amostra está relacionada com a variação em diâmetro e forma das árvores da população. É importante que as árvores selecionadas representem todas as classes de diâmetro (*dap*) a partir de um diâmetro mínimo, e de preferência com a mesma frequência por classe. Além disso, essas árvores devem ser colhidas em toda a área da população, para melhor representar a área (CAMPOS; LEITE, 2017).

No app os dados provenientes da cubagem rigorosa são chamados de dados em nível de seção, pois cada linha da tabela representa uma seção de uma determinada árvore. Dados em nível de árvore, portanto, são dados com o seu volume calculado, onde cada linha representa uma árvore (Figura 43).

Ao fazer o upload dos dados, o usuário tem a opção de fazer o upload de dados em nível de seção ou árvore, ou utilizar dados de exemplo para se familiarizar com o app (Figura 40). O cálculo do volume por seção pode ser feito utilizando os métodos de Smalian ou Huber (Figura 41). Com o volume de cada seção calculado, o cálculo do volume por árvore é feito somando os volumes das seções de cada árvore, chamado no app de totalização de árvores. (Fórmulas 34, 35 e 36).

$$V_{Smalian} = \frac{AS_i + AS_{i+1}}{2} \cdot L \quad (34)$$

$$V_{Huber} = AS_{1/2} \cdot L \quad (35)$$

$$V_{arvore} = V_{seção01} + V_{seção02} + \dots + V_n \quad (36)$$

em que: $V_{Smalian}$ = Volume por seção pelo método de Smalian em m³; AS_i = área seccional com casca, obtida com o diâmetro mensurado no início da seção, em m²; AS_{i+1} = área seccional com casca, obtida com o diâmetro mensurado no final da seção, em m²; L = comprimento da seção, em m; V_{Huber} = Volume por seção pelo método de Huber em m³; V_{arvore} = volume total da árvore, em m³; $V_{seção}$ = Volume da seção calculado utilizando o método de Smalian ou Huber (HUSCH; BEERS; KERSHAW, 2003).

Ao calcular o volume por árvore, é possível calcular o fator de forma. O fator de forma médio pode ser utilizado para estimar o volume árvores num inventário florestal, porém este método é normalmente menos preciso que modelos de árvore individual. Ele ainda pode ser utilizado em situações em que não é possível ajustar um modelo volumétrico por falta de dados por parcela, ou falta de variáveis necessárias para o ajuste de determinado modelo (Fórmulas 37 e 38).

$$f = \frac{V_{real}}{V_{cilindro}} \quad (37)$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot dap^2}{40000} \cdot ht \quad (38)$$

em que: f = fator de forma; V_{real} = volume observado; $V_{cilindro}$ = volume de um cilindro; dap = diâmetro à 1,30 m do solo; ht = altura total (CAMPOS; LEITE, 2017).

Os códigos a seguir foram utilizados para calcular os volumes de Smalian Huber, totalização de árvores e fator de forma (Figura 41).

Figura 41 – Código em R para calcular o volume por seção e por árvore

```
library(dplyr)

# calcula o volume de cada secao
dados <- dados %>%
  group_by( arvore ) %>%
  mutate(AS = ( ( di^2* pi) / 40000) ,
          V_Smalian = ((AS + lead(AS) )/2 ) * (lead(hi) - hi ),
          V_Huber = AS * L )

# Dados em nivel de arvore
dados_arvore <- dados %>%
  group_by( arvore ) %>%
  summarise(V_arvore = sum(V_Smalian)
            dap = mean(dap),
            ht = mean(ht),
            FF = V_Smalian/ (AS * ht) ) %>%
  mutate(FF_medio = mean(FF))

# ou utilizando o pacote forestmangr
library(forestmangr)

dados <- huberwb(dados, "di", "L", "arvore")
#ou
dados <- smalianwb(dados, "di", "hi", "arvore")

dados_arvore <- vol_summarise(dados, "dap", "ht", "VWB", "arvore")
Fonte: Autor.
```

A análise descritiva dos dados no app é feita distribuindo os dados em classes de diâmetro, criando tabelas em gráficos com número de árvores, volume e área basal por classe diamétrica (Figura 44). A análise da forma média das árvores da população é feita ajustando o modelo de *taper* descrito por Kozak, Munro e Smith (1969) (Fórmula 39).

$$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 * \frac{h}{ht} + \beta_2 * \left(\frac{h}{ht}\right)^2 + \varepsilon \quad (39)$$

em que: d = diâmetro da seção em cm; dap = diâmetro a 1,30 m do solo em cm; h = altura da seção em m; ht = altura total em m; , ε = erro padrão.

Os códigos a seguir foram utilizados para calcular a forma da árvore média (Figura 42).

Figura 42 – Código em R para calcular a forma da árvore média

```
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(ggpmisc)
library(ggthemes)

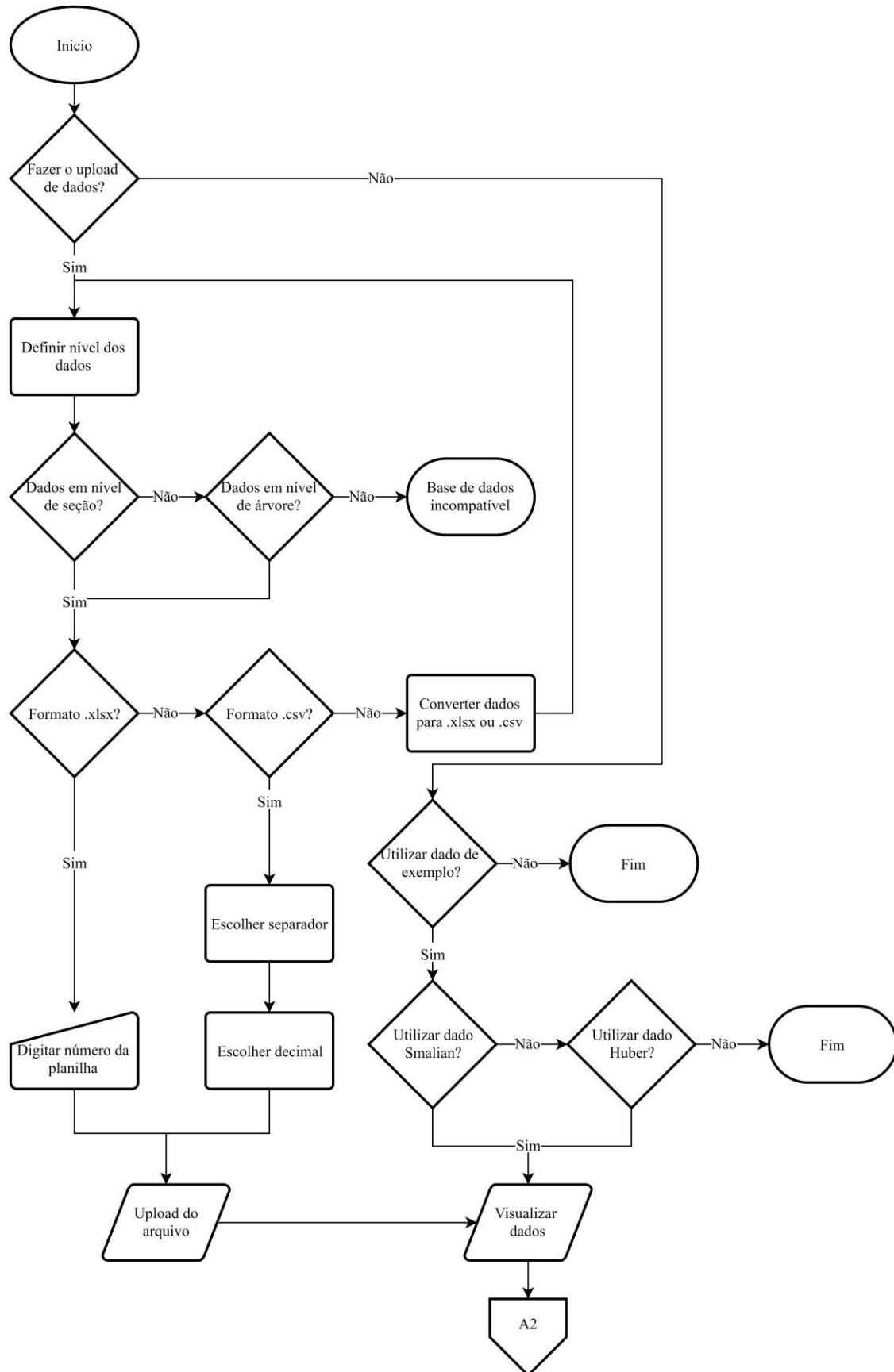
dados %>%
  mutate(d_sob_dbh = d/dap,
         h_sob_ht = h/ht,
         h_sob_ht_quad = h_sob_ht^2 ) %>%
  ggplot(aes(x=d_sob_dap, y=h_sob_ht)) +
  geom_point(size = 2, alpha = .4) +
  # coord_fixed(ratio=2) +
  labs(x=expression(italic(frac(d,dap))),
       y=expression(italic(frac(h,ht))))
  ) +
  stat_poly_eq(
    formula = x ~ poly(y, 2, raw=T),
    size = 3,
    eq.x.rhs = "italic(frac(h,HT))",
    eq.with.lhs = "italic(hat(frac(d,DAP)))~`=~",
    aes(label = paste(..eq.label.., ..rr.label.., sep = "*plain(\"\",\")~"
  )),
    label.x.npc="right",
    parse = TRUE ) +
  theme_igray(base_family = "serif") +
  theme(
    axis.title.y = element_text(angle = 0, vjust =.5),
    panel.grid.major = element_blank(),
    panel.grid.minor = element_blank(),
    panel.border = element_blank(),
    axis.title = element_text(size = 14,face="bold"),
    axis.text = element_text(size = 14),
    axis.line.x = element_line(color="black"),
    axis.line.y = element_line(color="black"),
    strip.text.x = element_text(size = 14) )

# ou utilizando o pacote forestmangr
library(forestmangr)

average_tree_curve(dados, "d", "dap", "h", "ht")
```

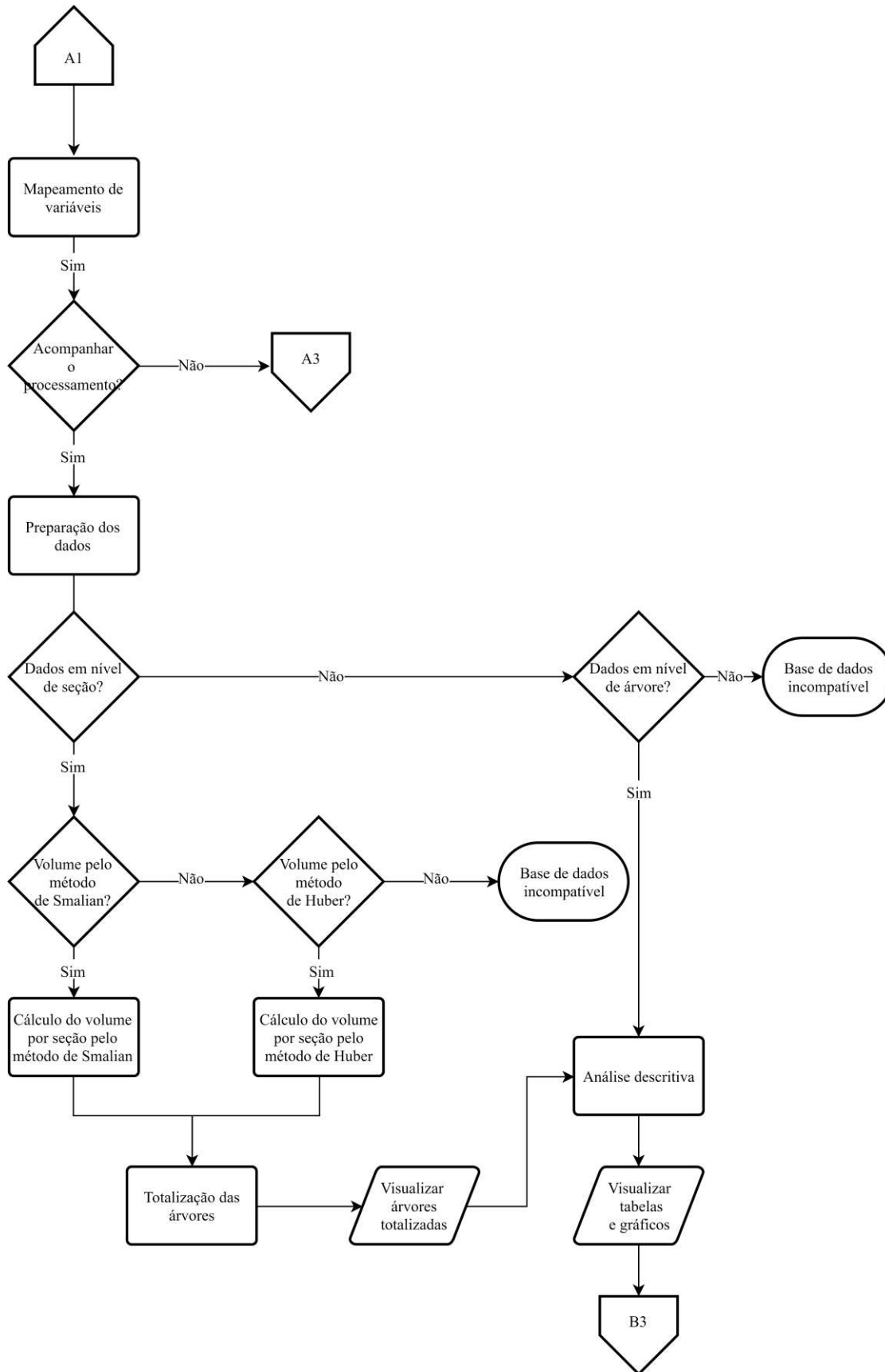
Fonte: Autor.

Figura 43 — Fluxograma para App Cubagem, parte 1



Fonte: Autor.

Figura 44 — Fluxograma para App Cubagem, parte 2



Fonte: Autor.

Modelos de árvore individual são utilizados devido a sua precisão e praticidade em

serem aplicados. Estes modelos são ajustados com dados provenientes de cubagem rigorosa, reduzidos para nível de árvore. Com o ajuste são geradas equações que podem ser utilizadas em dados de inventário florestal da mesma população, ou em populações compatíveis (mesma espécie, idade semelhante, sítio ou bioma semelhante). Para aumentar a exatidão das estimativas, é comum se ajustar esses modelos por sítio, espécie ou espaçamento, concentrando a homogeneidade e melhorando a qualidade do ajuste.

O app ajusta três dos modelos lineares de árvore individual e estes podem ser ajustados por alguma variável classificatória, como por exemplo, espécie (Figura 47). Não foram utilizados modelos não-lineares pois estes necessitam de chutes iniciais, o que tornaria o processo de ajuste menos intuitivo ao usuário. Os modelos utilizados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 — Modelos volumétricos disponíveis para ajuste no App Cubagem

Modelo	Autor
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap) + \varepsilon$	Husch
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap^2 * ht) + \varepsilon$	Spurr
$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap) + \beta_2 * Ln(ht) + \varepsilon$	Schumacher e Hall

Fonte: (IMAÑA-ENCINAS et al., 2009).

em que: V = Volume; dap = diâmetro a 1,30m do solo; ht = altura, ε = erro padrão; ln = logaritmo natural.

Os códigos a seguir foram utilizados para ajustar os modelos (Figura 45):

Figura 45 – Código em R para realizar ajustes de modelos de árvore individual por talhão

```
# exemplo de ajuste de modelo volumétrico por talhao
library(dplyr)

tab_mod_hips <- dados %>%
  group_by(TALHAO) %>%
  do(Reg = lm(log(vol) ~ log(dap) + log(ht), data =.)) %>%
  mutate(b0=coef(Reg)[1],
         b1=coef(Reg)[2],
         b2=coef(Reg)[3],
         Rsqr=summary(Reg)[[9]],
```

```
Std.Error=summary(Reg)[[6]]) %>%
select(-Reg)
```

ou utilizando o pacote forestmangr:

```
library(forestmangr)
tab_mod_hips <- lm_table(dados, log(vol) ~ log(dap) + log(ht), .groups = "
TALHAO" )
```

Fonte: Autor.

Para avaliar a qualidade dos ajustes, é comum a avaliação de parâmetros como R^2 e erro-padrão do ajuste. Porém estes nem sempre representam a qualidade real do ajuste. Modelos com R^2 alto podem ainda assim não produzir resultados satisfatórios, e vice-versa. Outra forma de verificar a qualidade do ajuste de modelos é utilizando gráficos de resíduos em porcentagem. Esses gráficos são construídos utilizando o cálculo do erro ou resíduo da estimativa com base na variável observada (Fórmulas 40 e 41).

$$e_{absoluto} = V_{iobs} - v_{iest} \quad (41)$$

$$e_{relativo} = \frac{e_{absoluto}}{V_{iobs}} * 100 \quad (42)$$

em que: $e_{absoluto}$ = erro absoluto, V_{iobs} = valor observado; V_{iest} = valor estimado; $e_{relativo}$ = erro em porcentagem (CAMPOS; LEITE, 2017).

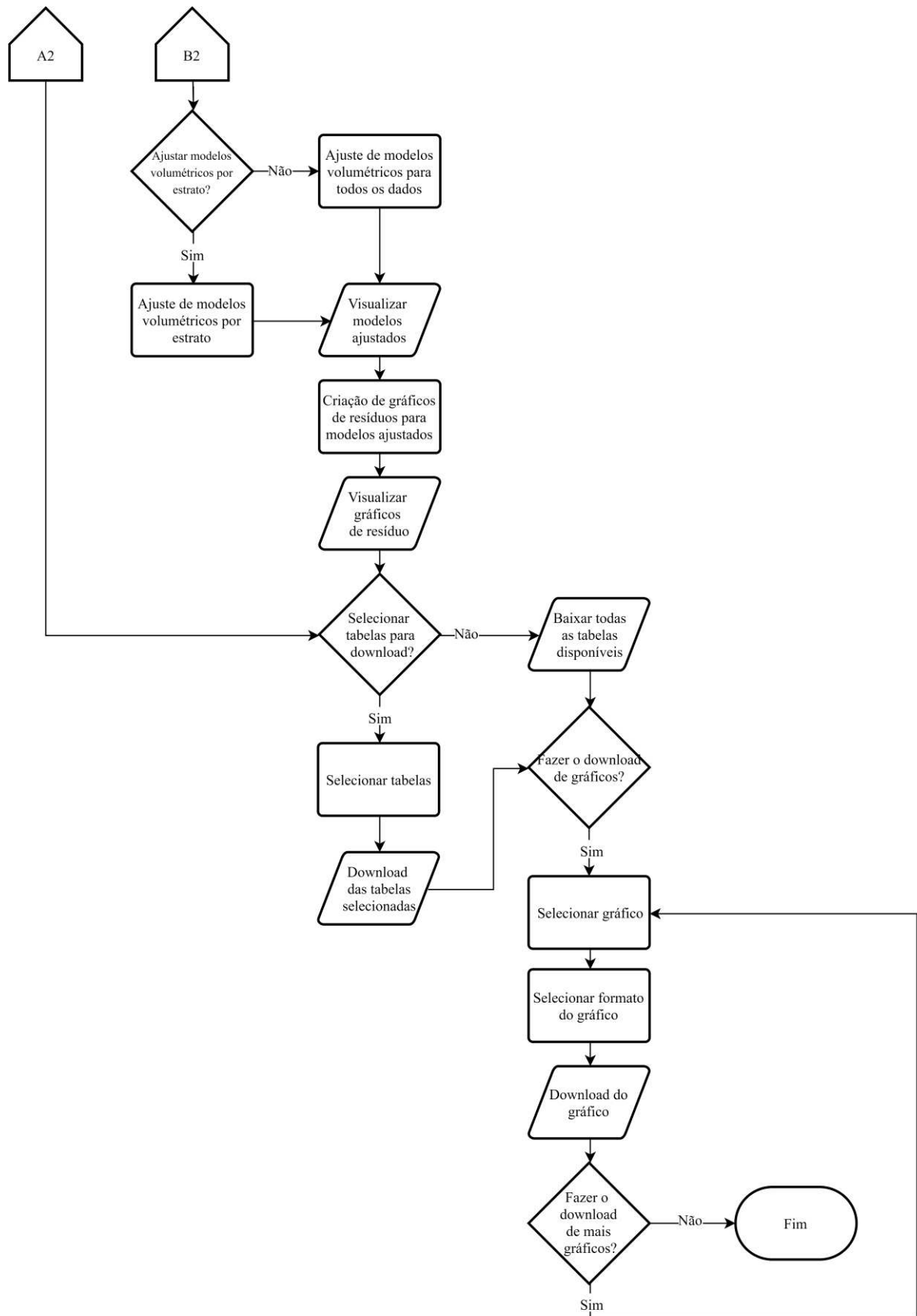
Os códigos a seguir foram utilizados para calcular os resíduos (Figura 46).

Figura 46 — Código em R para calcular o resíduo das estimativas

```
dados$res_porc <- ((dados$V_EST - dados$V_OBS)/dados$V_OBS) * 100
# ou utilizando o pacote forestmangr
library(forestmangr)
resid_plot(dados, "V_OBS", "V_EST")
```

Fonte: Autor.

Figura 47 — Fluxograma para App Cubagem, parte 3



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A identidade do aplicativo foi desenhada a partir de uma barra superior verde, contendo abas sequencialmente e cronologicamente organizadas assim como o App Inventário de Nativas. Cada aba apresentou sub-abas, unindo análises semelhantes ou sequencialmente coerentes (Figura 48). A aba Intro é a tela de entrada na aplicação, e contém informações básicas sobre o App, bem como as principais fontes consultadas para sua construção.

O App Cubagem. Inicia com forma semelhante aos demais *web apps*, com uma aba de mapeamento de variáveis, onde as variáveis essenciais para o processamento são definidas, e uma aba de preparação dos dados, já descrita anteriormente. A diferença é que neste caso é possível realizar conversões de unidade (centímetro para metro, no caso da “variável altura da seção”, por exemplo). Isso permite que o App aceite dados que não necessariamente se adequam aos seus padrões de medida.

Figura 48 — Aba de introdução ao App Cubagem



Fonte: Autor

Nas Figuras 49 e 50 é apresentado o sistema de upload de arquivos, que funciona de forma muito semelhante ao do App Inventário de Nativas, apresentado na Figura 2, detalhado anteriormente. O que difere este sistema do anterior é que os dados utilizados no App Cubagem devem ser provenientes de cubagem rigorosa, ou seja, devem estar em nível de seção, ou em nível de árvore (onde o volume já tenha sido totalizado). Os dados inseridos no App

devem ter sido cubados pelo método de Smalian ou Huber. Para esclarecer dúvidas que o usuário possa ter sobre como formatar o dado para ser processado no *web app*, foram inseridos dois dados de exemplo, um para o método de Smalian e outro para o método de Huber, que podem ser visualizados e processados pelo usuário (Figuras 49 a 53).

Figura 49 — Aba de importação de dados no App Cubagem

App Cubagem 1.0.2 Intro **Importação** Mapeamento de variáveis Preparação dos dados cálculo do volume Análise descritiva Ajuste de modelos volumétricos Download

Please import a dataset

Dados

Fazer o upload de um arquivo, ou utilizar o dado de exemplo?

☒ Fazer o upload
☐ Utilizar o dado de exemplo de Smalian
☐ Utilizar o dado de exemplo de Huber

Tipo da base de dados:

☒ Dados em nível de secção
☐ Dados em nível de árvore

Informe o formato do arquivo:

☒ .csv (Valor separado por vírgulas) ou .txt (arquivo de texto)
☐ .xlsx (Excel)

Separador:

☒ Virgula
☐ Ponto e Virgula
☐ Tabulação

Decimal:

☒ Ponto
☐ Virgula

Selecione o arquivo: (.csv ou .txt)

Browse... No file selected

Fonte: Autor.

Figura 50 — Dados de exemplo de Smalian carregados no App Cubagem

App Cubagem 1.0.2 Intro **Importação** Mapeamento de variáveis Preparação dos dados cálculo do volume Análise descritiva Ajuste de modelos volumétricos Download

Showing 10 entries

Search:

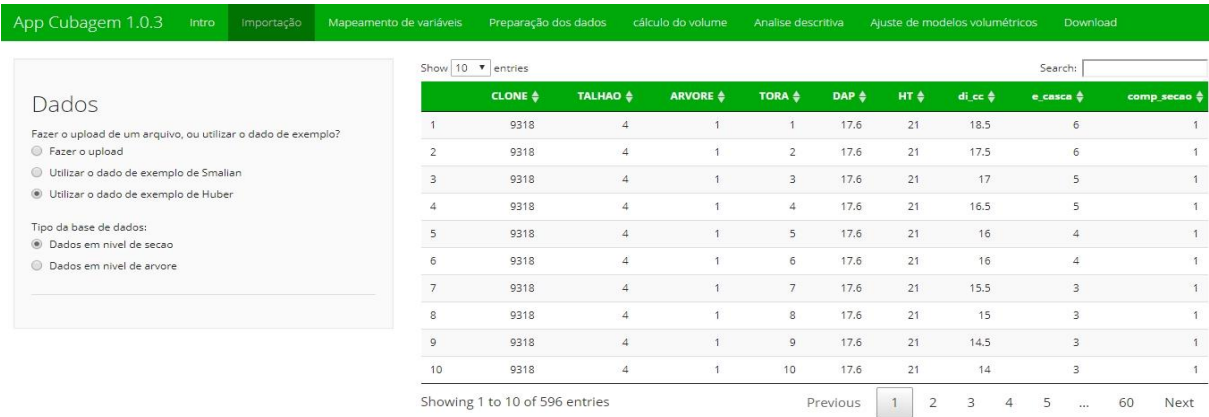
	FAZENDA	PROJETO	ESPAÇAMENTO	TALHAO	MATGEN	ARVORE	DAP	HT	hi
1	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	0.1
2	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	0.5
3	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	1
4	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	1.5
5	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	2
6	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	4
7	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	6
8	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	8
9	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	10
10	ENGFORESTAL	PEQUI	3x3	4	FLO014	1	12.41408556	22.1	12

Showing 1 to 10 of 3,393 entries

Previous 1 2 3 4 5 ... 340

Fonte: Autor

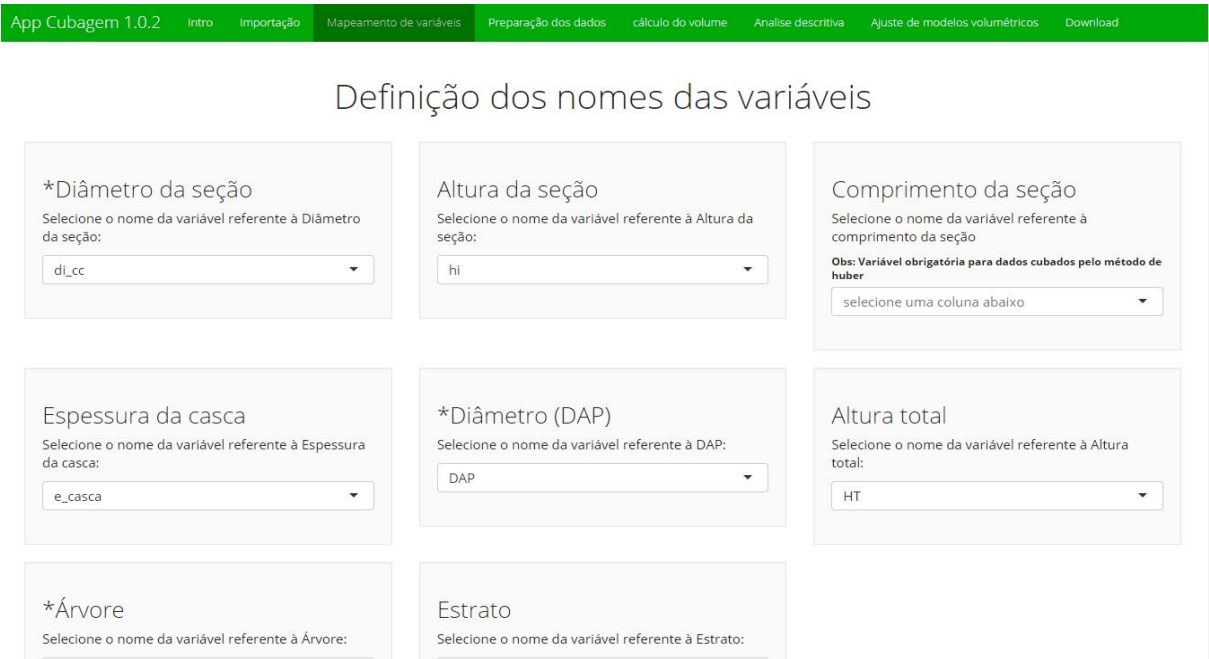
Figura 51 — Dados de exemplo de Huber carregados no App Cubagem



Fonte: Autor.

As variáveis precisam ser mapeadas para que o *web app* possa realizar os processamentos, assim como no App Inventário de Nativas. O mapeamento é obrigatório para as variáveis: Diâmetro da seção, Diâmetro (DAP) e Árvore. A variável Comprimento da seção é obrigatória para dados cubados pelo método de Huber (Figura 52). Uma vez mapeado, todas as demais abas do app seguirão as associações indicadas.

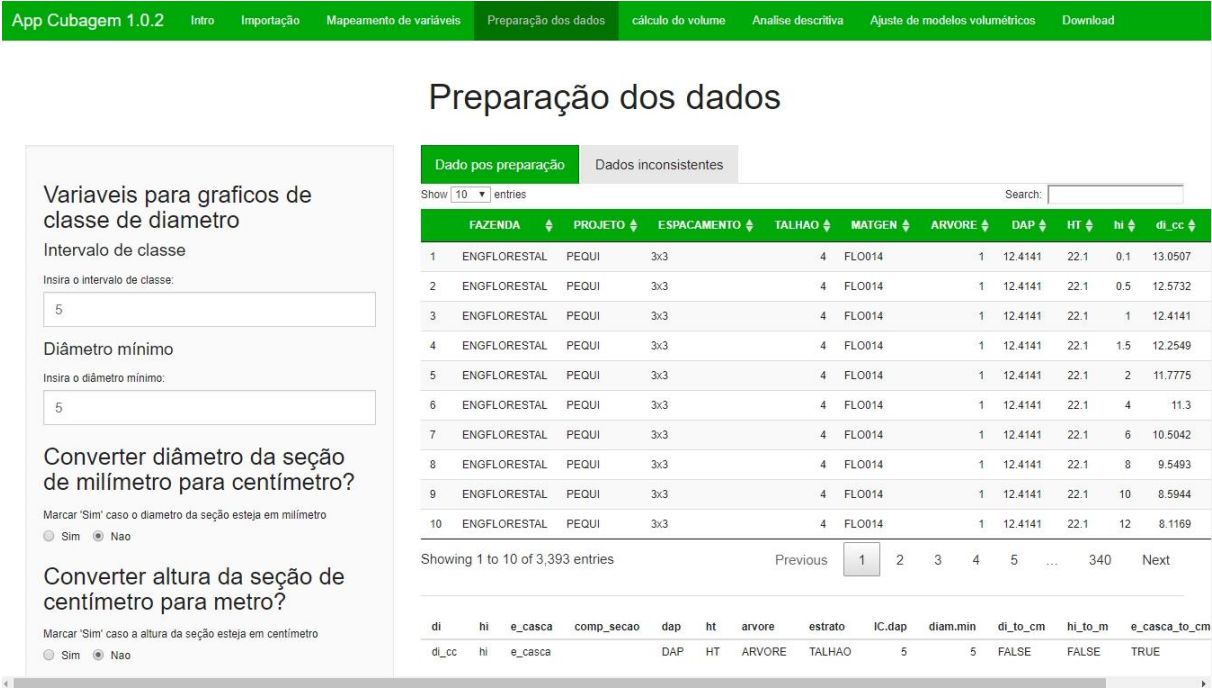
Figura 52 — Aba de mapeamento de variáveis no App Cubagem



Fonte: Autor

O App necessita que a variável diâmetro da seção esteja em centímetro, e que a variável altura da seção esteja em metros para fazer os cálculos corretamente. Caso essas variáveis não estejam nestas unidades, elas podem ser convertidas na aba de preparação (Figura 53 e 54).

Figura 53 — Aba de preparação dos dados no App Cubagem



Fonte: Autor.

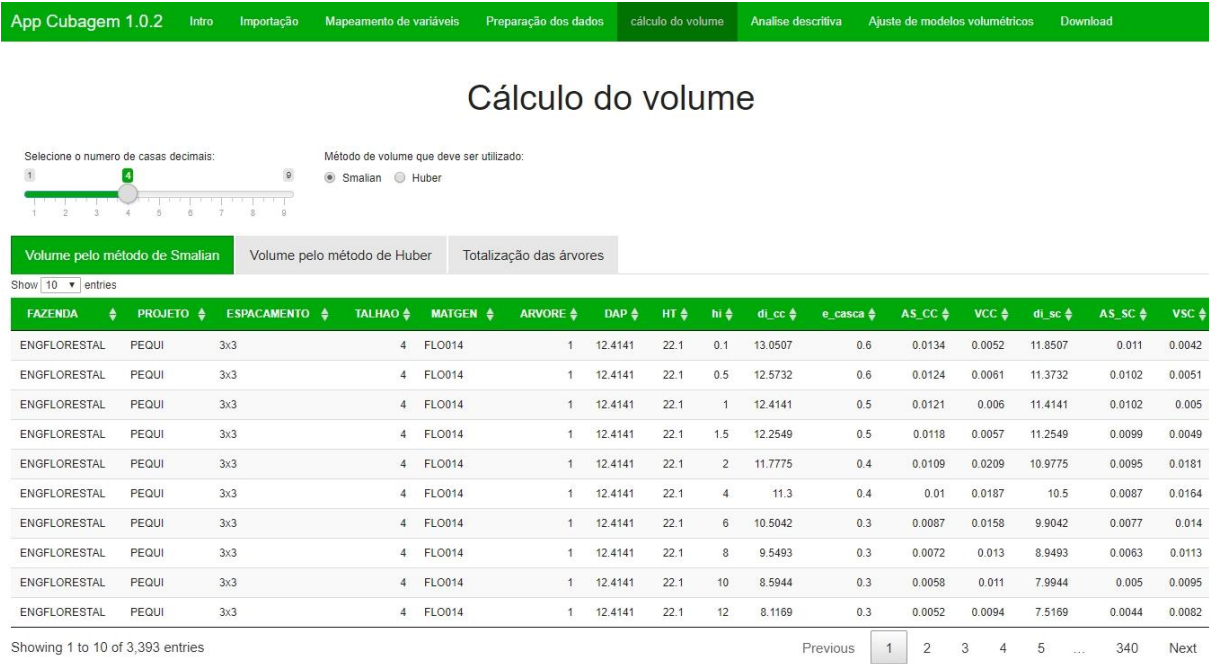
Figura 54 — Opções adicionais da aba de preparação de dados no App Cubagem



Fonte: Autor.

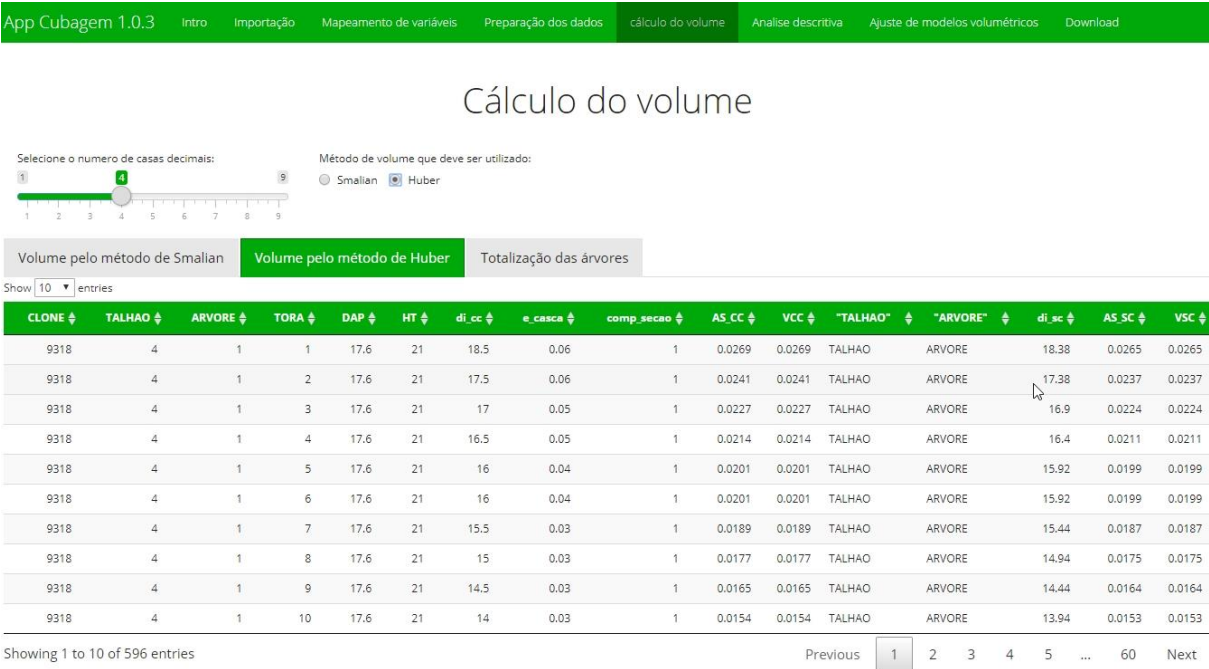
Na próxima aba é feita a totalização do volume com casca por árvore, de acordo com o método de cubagem utilizado. Se o usuário mapear a variável referente a “espessura da casca”, o volume sem casca também é calculado. O usuário pode visualizar o resultado da totalização (Figuras 55, 56 e 57).

Figura 55 — Volume calculado pelo método de Smalian no App Cubagem



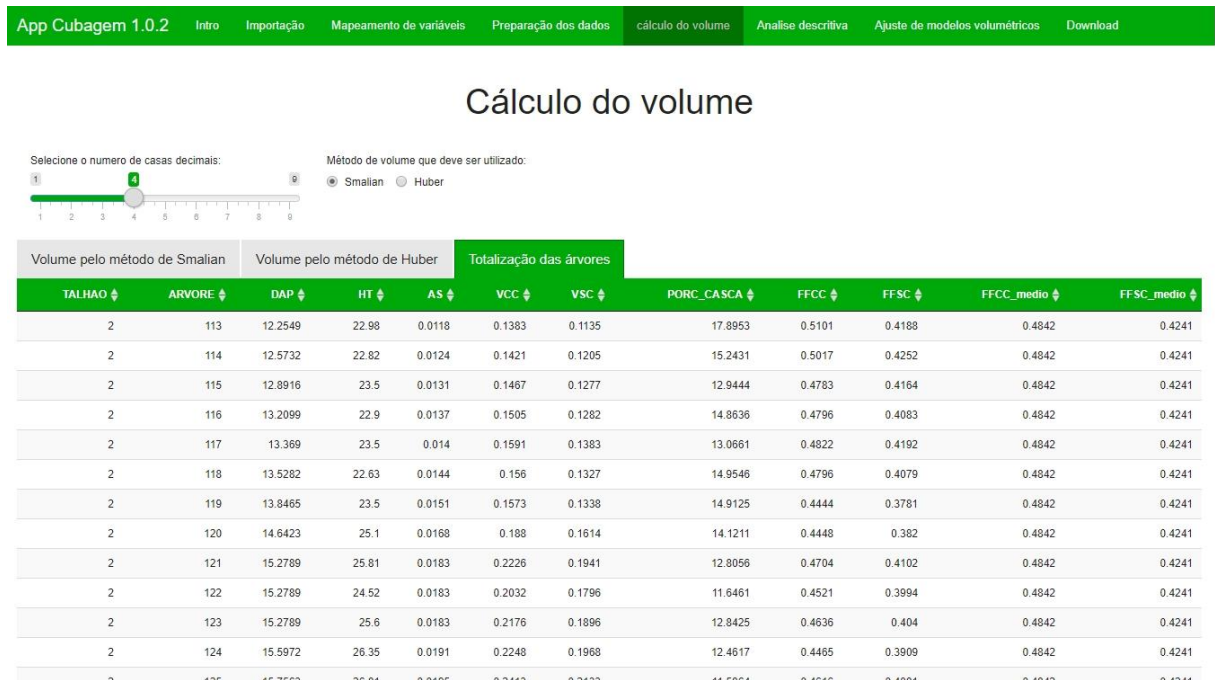
Fonte: Autor.

Figura 56 — Volume calculado pelo método de Huber no App Cubagem



Fonte: Autor.

Figura 57 — Totalização das árvores no App Cubagem



Fonte: Autor.

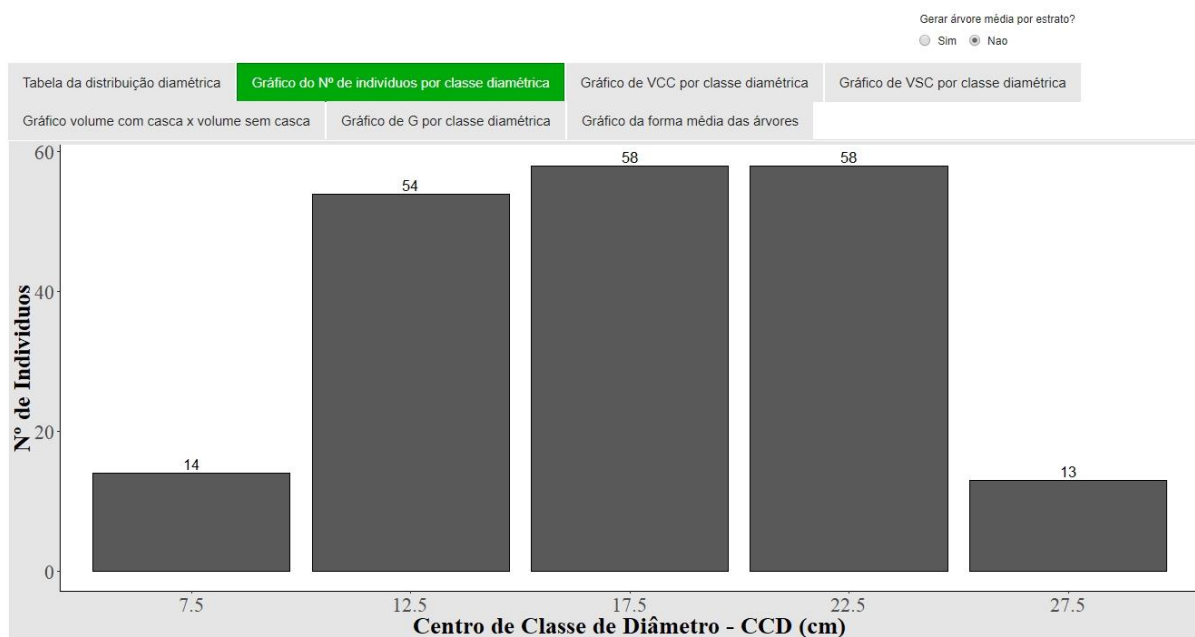
Em seguida é feita a análise descritiva dos dados. São analisadas a distribuição diamétrica dos dados, gráficos de número de indivíduos, volume com casca e volume sem casca e área basal por classe diamétrica, gráfico do volume com casca em função do volume sem casca e por fim um gráfico com a forma média das árvores. Esse é um gráfico de dispersão onde os pontos formam uma curva que representam o perfil da árvore média dos dados, e é criado com base no modelo de *taper* descrito por Kozak (Figuras 58 a 65).

Figura 58 — Tabela de distribuição diamétrica no App Cubagem



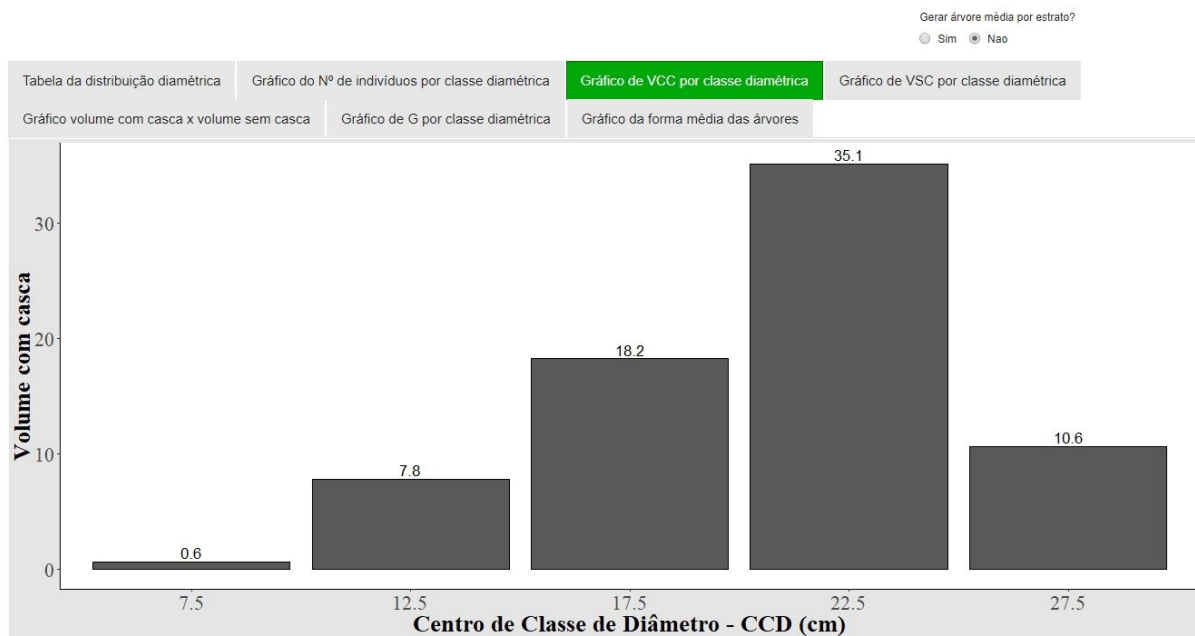
Fonte: Autor.

Figura 59 — Gráfico do N° de indivíduos por classe diamétrica no App Cubagem
Análise descritiva



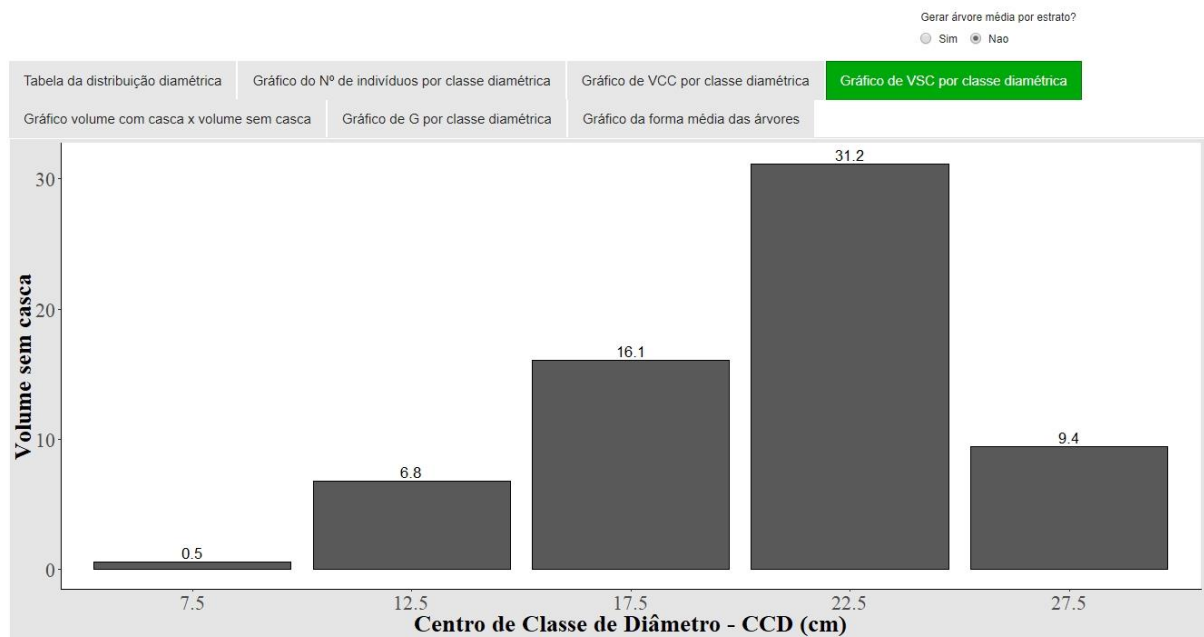
Fonte: Autor.

Figura 60 — Gráfico do volume com casca por classe diamétrica no App Cubagem
Análise descritiva



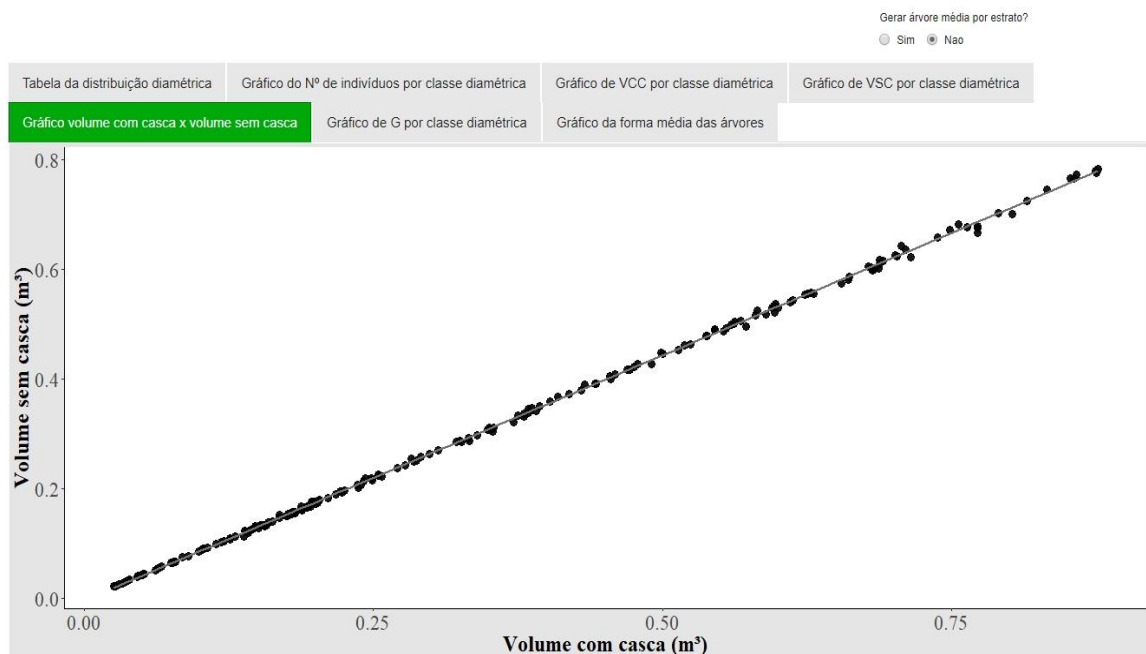
Fonte: Autor.

Figura 61 — Gráfico do volume sem casca por classe diamétrica no App Cubagem
Análise descritiva



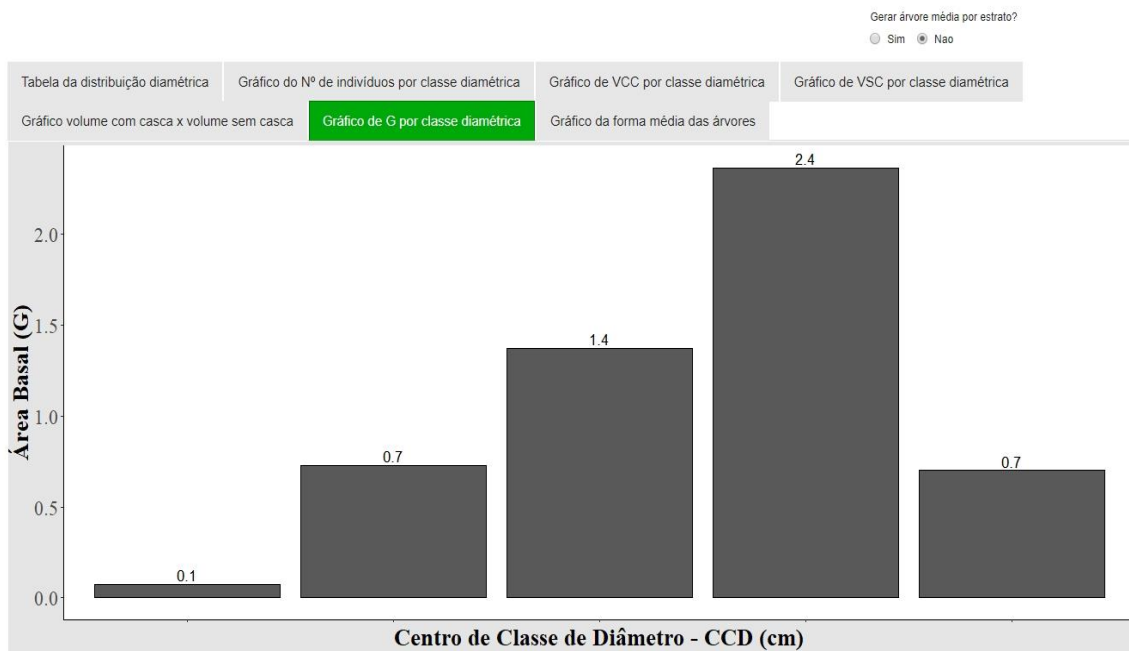
Fonte: Autor.

Figura 62 — Gráfico da relação entre volume com casca e sem casca no App Cubagem
Análise descritiva



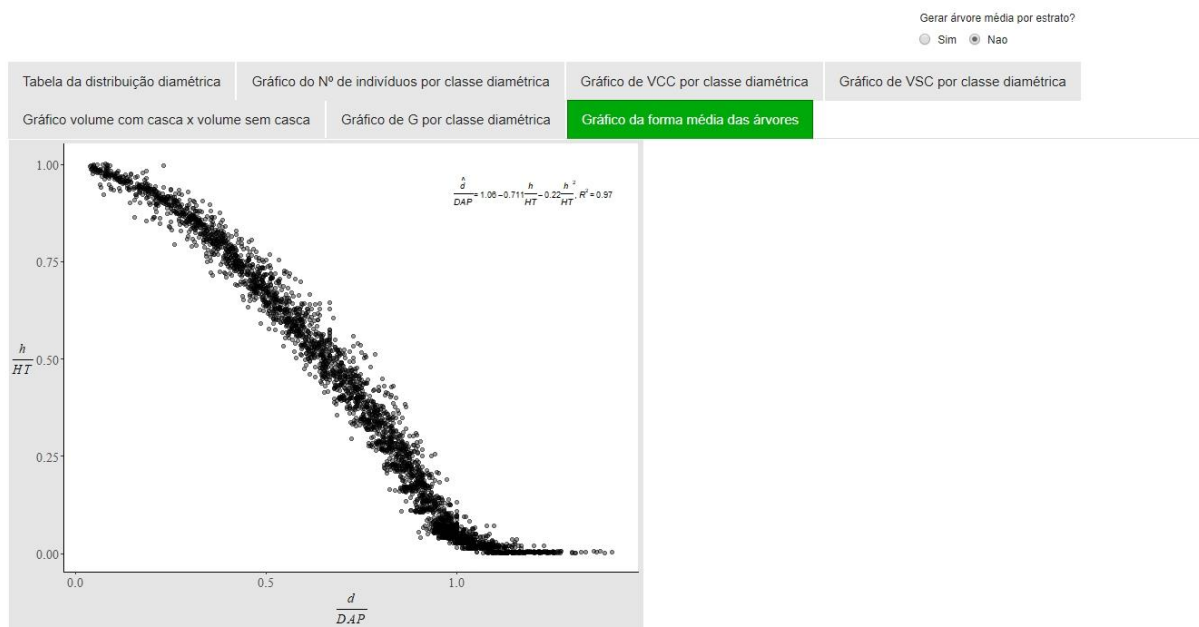
Fonte: Autor.

Figura 63 — Gráfico da área basal por classe diamétrica no App Cubagem
Análise descritiva



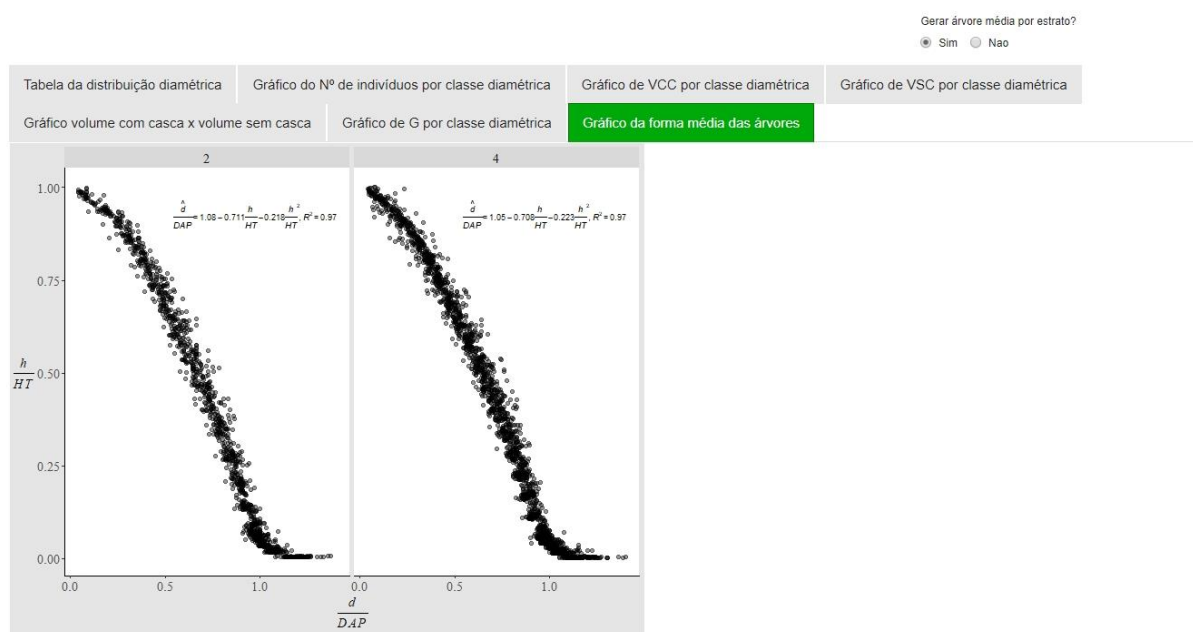
Fonte: Autor.

Figura 64 — Gráfico da forma média das árvores no App Cubagem
Análise descritiva



Fonte: Autor.

Figura 65 — Gráfico da forma média das árvores de cada estrato no App Cubagem
Análise descritiva



Fonte: Autor.

A próxima etapa do processamento de dados no App Cubagem, o ajuste de modelos volumétricos, funciona conforme o fluxograma da Figura 36. Caso uma variável classificatória como talhão, estrato ou parcela tenha sido inserida, está poderá ser utilizada nesta etapa para realizar ajustes por grupo. Os modelos disponíveis para ajuste são: Husch (2003), Schumacher e Hall (1933) e Spurr (1952), com casca e sem casca (Figura 66 e 69).

Figura 66 — Tabela de coeficientes dos modelos ajustados no App Cubagem

App Cubagem 1.0.2 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação dos dados cálculo do volume **Análise descritiva** Ajuste de modelos volumétricos Download

Ajustar modelos por estrato?
☐ Sim ☒ Não

Tabela de Coeficientes Gráficos de resíduo para volume com casca Gráficos de resíduo para volume sem casca

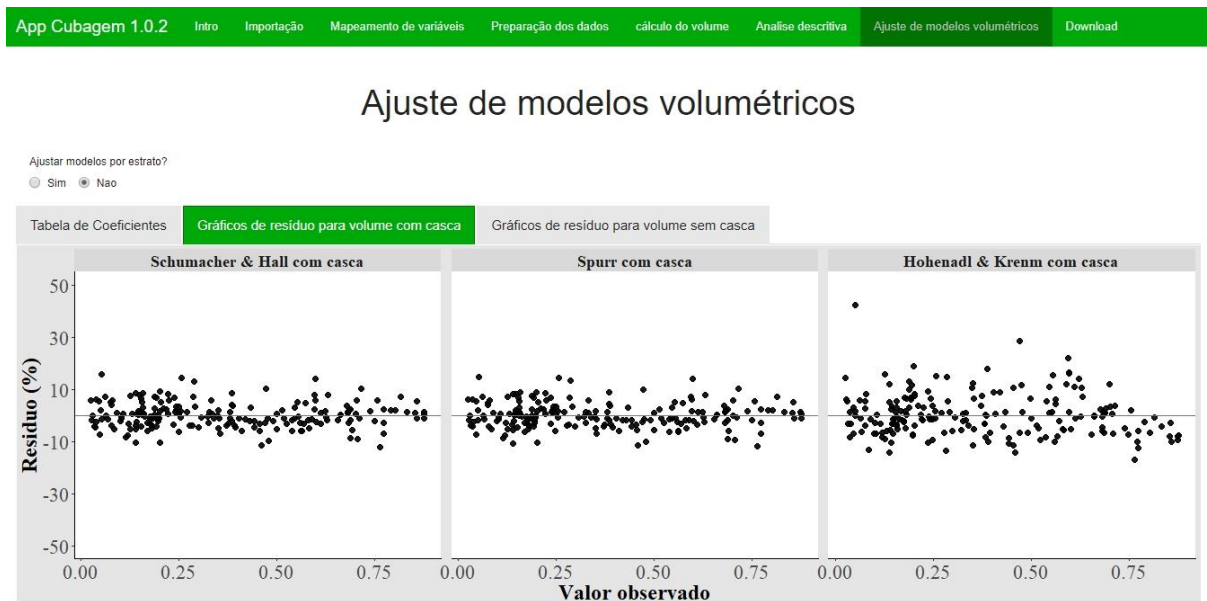
Nome	Modelo	b0	b1	b2	Rsqr	Rsqr_adj	Std.Error
Hohenadi & Krenm com casca	$LN(VCC) = b0 + b1 \cdot DAP + b2 \cdot DAP^2 + e$	-5.72645605	0.36714792	-0.00601635	0.99091425	0.99082058	0.08013896
Hohenadi & Krenm sem casca	$LN(VSC) = b0 + b1 \cdot DAP + b2 \cdot DAP^2 + e$	-5.89238338	0.3694853	-0.00602928	0.99070182	0.99060596	0.08201876
Husch com casca	$LN(VCC) = b0 + b1 \cdot LN(DAP) + e$	-8.48878449	2.55400754		0.98931222	0.98925741	0.08669429
Husch sem casca	$LN(VSC) = b0 + b1 \cdot LN(DAP) + e$	-8.70068716	2.58336792		0.98891614	0.98885929	0.08931892
Schumacher & Hall com casca	$LN(VCC) = b0 + b1 \cdot LN(DAP) + b2 \cdot LN(HT) + e$	-9.59586349	1.88937225	0.90716312	0.99666464	0.99663025	0.04855508
Schumacher & Hall sem casca	$LN(VSC) = b0 + b1 \cdot LN(DAP) + b2 \cdot LN(HT) + e$	-9.80897544	1.91800664	0.90815403	0.9961152	0.99607515	0.05301495
Spurr com casca	$LN(VCC) = b0 + b1 \cdot LN(DAP^{HT}) + e$	-9.62745854	0.93441087		0.99665795	0.99664081	0.04847894
Spurr sem casca	$LN(VSC) = b0 + b1 \cdot LN(DAP^{HT}) + e$	-9.85179146	0.94507881		0.99610321	0.99608323	0.05296042

Fonte: Autor.

São gerados gráficos de resíduos e tabelas com coeficientes e parâmetros de qualidade de ajuste (R^2 e erro-padrão) para as equações geradas. Essas podem ser utilizadas

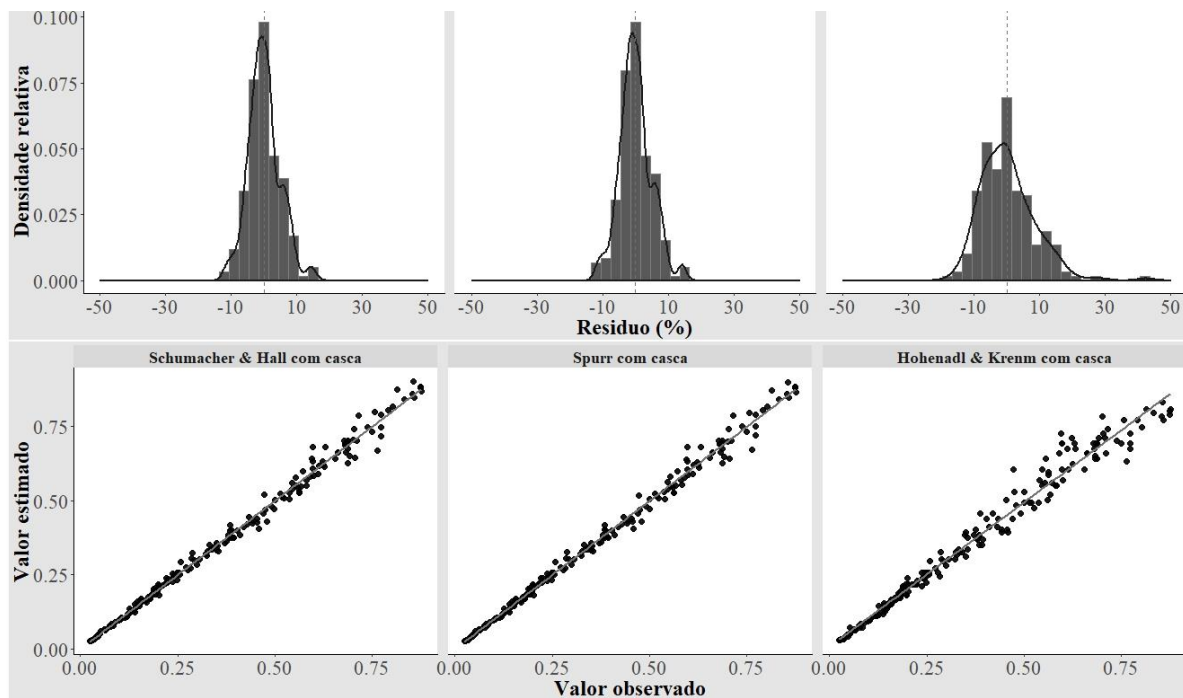
para avaliar qual modelo melhor se adequa aos dados (Figuras 67, 68 e 70).

Figura 67 — Gráficos de resíduo para volume com casca App Cubagem, parte 1



Fonte: Autor.

Figura 68 — Gráficos de resíduo para volume com casca App Cubagem, parte 2

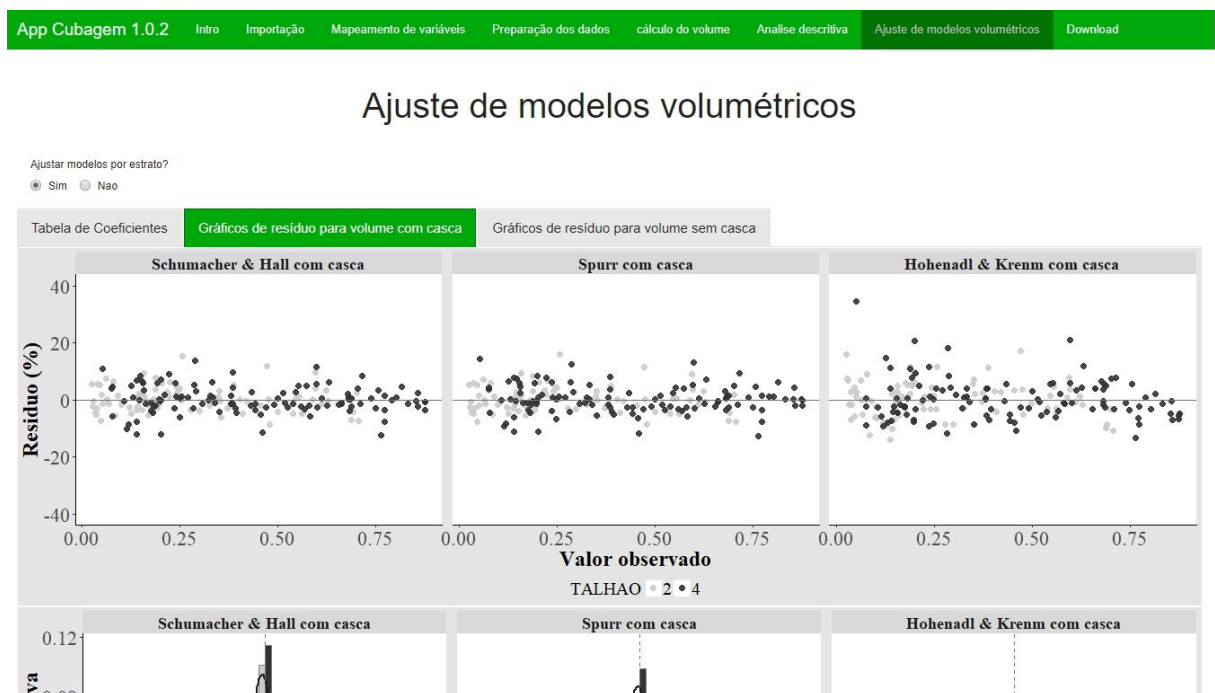


Fonte: Autor.

Figura 69 — Tabela de coeficientes dos modelos ajustados por talhão no App Cubagem

App Cubagem 1.0.2 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação dos dados cálculo do volume Análise descritiva Ajuste de modelos volumétricos Download									
Ajuste de modelos volumétricos									
Ajustar modelos por estrato? <input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Nao									
Tabela de Coeficientes		Gráficos de resíduo para volume com casca			Gráficos de resíduo para volume sem casca				
TALHAO	Nome	Modelo	b0	b1	b2	Rsqr	Rsqr_adj	Std.Error	
2	Hohenadl & Krenm com casca	$LN(VCC) = b_0 + b_1 \cdot DAP + b_2 \cdot DAP^2 + e$	-5.73926678	0.37409078	-0.00647719	0.99513791	0.99501933	0.0634785	
2	Hohenadl & Krenm sem casca	$LN(VSC) = b_0 + b_1 \cdot DAP + b_2 \cdot DAP^2 + e$	-5.88270355	0.37303901	-0.00637741	0.99479318	0.99466618	0.06648438	
2	Husch com casca	$LN(VCC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP) + e$	-8.25093877	2.45518012		0.9950021	0.99494189	0.06397009	
2	Husch sem casca	$LN(VSC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP) + e$	-8.46205249	2.48436626		0.99460971	0.99454477	0.06723682	
2	Schumacher & Hall com casca	$LN(VCC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP) + b_2 \cdot LN(HT) + e$	-9.58375129	1.92415478	0.87603719	0.99755719	0.99749761	0.04499458	
2	Schumacher & Hall sem casca	$LN(VSC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP) + b_2 \cdot LN(HT) + e$	-9.74082455	1.97487198	0.84051722	0.99690596	0.99683049	0.05125031	
2	Spurr com casca	$LN(VCC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP^{**}HT) + e$	-9.68253535	0.94186983		0.99754272	0.99751311	0.04485499	
2	Spurr sem casca	$LN(VSC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP^{**}HT) + e$	-9.90950419	0.95293038		0.99686476	0.99682699	0.05127864	
4	Hohenadl & Krenm com casca	$LN(VCC) = b_0 + b_1 \cdot DAP + b_2 \cdot DAP^2 + e$	-6.02700611	0.39859327	-0.0067322	0.98941872	0.98922457	0.07057671	
4	Hohenadl & Krenm sem casca	$LN(VSC) = b_0 + b_1 \cdot DAP + b_2 \cdot DAP^2 + e$	-6.22505265	0.40475755	-0.00685173	0.98887591	0.9886718	0.07322598	
4	Husch com casca	$LN(VCC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP) + e$	-8.69737862	2.63302958		0.98348717	0.98333706	0.08776472	
4	Husch sem casca	$LN(VSC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP) + e$	-8.91267608	2.66347119		0.98281533	0.9826591	0.09059841	
4	Schumacher & Hall com casca	$LN(VCC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP) + b_2 \cdot LN(HT) + e$	-9.73786142	1.75781581	1.06061302	0.99479371	0.99469818	0.04950585	
4	Schumacher & Hall sem casca	$LN(VSC) = b_0 + b_1 \cdot LN(DAP) + b_2 \cdot LN(HT) + e$	-9.97254389	1.7719515	1.08037307	0.99427262	0.99416753	0.05254255	

Fonte: Autor.

Figura 70 — Gráficos de resíduo para volume com casca por talhão App Cubagem

Fonte: Autor.

A próxima etapa é a de download dos resultados, que é uma aba dedicada apenas aos downloads, e funciona de forma idêntica ao App Inventário de Nativas; o usuário pode escolher algumas análises, ou fazer o download de todas as análises possíveis, desde que as variáveis necessárias para determinada análise tenham sido mapeadas. Os Resultados são

exportados em uma planilha .xlsx (Figura 70). Os gráficos disponíveis no app podem ser baixados na sub-aba download de gráficos nos formatos .jpg, .png e .pdf (Figura 71).

Figura 71 — Download de tabelas no App Cubagem

Fonte: Autor.

Figura 72 — Download de gráficos no App Cubagem



Fonte: Autor.

O *web app* App Cubagem foi carregado no servidor contratado, e disponibilizado online por meio de um ip fixo. Desde a publicação de sua versão beta em 2017, o aplicativo já conta com uma média de 100 acessos por semana, e vêm sendo utilizado por professores, alunos e profissionais da área.

5 CONCLUSÕES

O aplicativo App Cubagem foi criado com sucesso e já tem sido utilizado pela comunidade. O acesso via browser tem sido um atrativo já que não há a necessidade de instalação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 5ª ed. Viçosa: UFV, 2017.

HUSCH, B.; BEERS, T.; KERSHAW, J. **Forest Mensuration**. 4ª ed. New Jersey: John Wiley & sons, Inc., 2003.

KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. H. G. Taper Functions and their Application in Forest Inventory. **The Forestry Chronicle**, v. 45, p. 278–283, 1969.

OLIVEIRA, M. L. R. DE et al. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **R. Árvore**, v. 33, n. 1, p. 133–141, 2009.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. DOS S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719–734, 1933.

SPURR, S. H. **Forest Inventory**. New York: Ronald Press Co., 1952.

CAPÍTULO 3

App Inventário Florestal — APLICAÇÃO WEB PARA PROCESSAMENTO DE DADOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL DE FLORESTAS EQUIÂNEAS

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi criar uma aplicação web para processamento de dados de inventário florestal de florestas equiâneas utilizando linguagem R em uma plataforma online.

Inicialmente o aplicativo apresenta uma tela de introdução, e após isso, na aba de *upload*, o usuário tem a opção de fazer o upload dos seus dados, ou utilizar um dos dados de exemplo. Caso o usuário deseje inserir os seus próprios dados, estes devem estar em nível de fuste, árvore, ou parcela, caso contrário serão incompatíveis com as análises. O formato do arquivo de entrada pode ser valores separados por vírgula (comma separated values – CSV), ou em planilha eletrônica .xlsx, formato padrão do Microsoft Excel 2007 e superior. Após o upload, os dados podem ser visualizados dentro do *web app*. A próxima etapa, é o mapeamento de variáveis onde o usuário irá definir quais colunas dos seus dados são referentes às variáveis utilizadas pelo *web app*. Isso será feito com todas as variáveis que o *web app* utiliza, como árvore, diâmetro, altura, etc. Esse processo é feito apenas uma vez. A próxima etapa é a preparação dos dados, onde são definidos alguns valores, como diâmetro mínimo e intervalo de classe para gráficos de classe diamétrica que serão feitos futuramente, remoção de colunas e filtragem de dados. Nesta etapa também é possível realizar a consistência dos dados. Em seguida te-se a estimação da altura das árvores não-medidas, e estimação do volume, caso este não tenha sido mapeado. Três modelos hipsométricos estão disponíveis, e são apresentados gráficos de resíduo para se determinar o modelo mais adequado. Em seguida é feita a análise descritiva dos dados. Está inclui a distribuição diamétrica dos dados, gráficos de número de indivíduos, volume com casca e volume sem casca e área basal por classe diamétrica, entre outros. Na aba “Inventário Florestal” é feita a totalização das parcelas, e o cálculo das estatísticas de inventário para os métodos mais comumente utilizados. Por fim, a aba de downloads permite que o usuário faça o download dos resultados. O aplicativo App Inventário Florestal foi criado com sucesso, e pode ser acessado remotamente por meio de um navegador de internet.

Palavras-chave: Shiny, R, mensuração florestal.

CAPÍTULO 3

App Inventário Florestal - WEB APPLICATION FOR PROCESSING FOREST INVENTORY DATA OF EVEN-AGED FORESTS

ABSTRACT

The aim of this study was to create a web app for processing forest inventory data of uneven-aged forests using R language in an online platform. Initially the app shows an introduction screen, and after that, in the upload tab, the user has the option to either upload their data or use a built-in example. If the user chooses to upload their own data, the data must be organized in a way that each line must be either a trunk, a tree or a plot, or it will not be compatible with the app. The entry format can be either comma separated values (.csv) or spreadsheets (.xlsx), the standard Microsoft Excel format. After the upload, the data is shown inside the app. The next step is the variable mapping, where the user defines which columns from their data represents each variable used by the app. This will be done with all variables that the app uses, like tree, diameter, height, etc. This process is done only once. The next step is data preparation, where some values are defined, such as minimum diameter for class interval, used in plots of diametric class, data filtering, and more. In this step is also possible to consist the data. Next we have height estimation for non-measured trees and volume estimation, if the volume variable is not mapped. Three height models are fit, and residual plots are shown, the help decide which model is the most adequate to the data. Next a descriptive analysis is done. This includes diametric distribution, plots for number of individuals, volume and basal area by diametric class, among others. In the “Inventário florestal” tab, plot totalization is made, and forest inventory statistics are calculated, based on the most commonly-used methods. And finally we have a download tab, where all results can be download by the user. The app Inventário Florestal was created successfully and can be accessed remotely using a web browser.

Keywords: Shiny, R, forest mensuration.

1 INTRODUÇÃO

Um inventário florestal completo pode fornecer informações, como: estimativas de área, descrição da topografia, mapeamento da propriedade, estimativas de quantidade e da qualidade de diferentes recursos florestais e estimativas de crescimento para florestas equiâneas e inequiâneas. A ênfase em determinado elemento pode variar de acordo com o objetivo do inventário (HUSCH; BEERS; KERSHAW, 2003).

O volume é uma das variáveis mais importantes em um inventário. Ao se empregar equações de volume, é comum se estimar a altura das árvores não medidas com equações específicas, definidas com base nas alturas medidas e ajustadas a partir de modelos hipsométricos (CAMPOS; LEITE, 2017).

Apesar da literatura específica citar diversos tipos de delineamentos amostrais que podem ser utilizados no inventário florestal, três tipos de amostragem ganham destaque, sendo as mais usadas: casual simples, sistemática e estratificada. Outros delineamentos utilizados geralmente são modificações destes (CAMPOS; LEITE, 2017).

Com a aplicação *web* App Inventário Florestal o usuário poderá estimar a altura de árvores não medidas, estimar o volume das árvores inserindo os coeficientes de um dos modelos disponíveis, realizar uma análise descritiva dos dados e fazer estimativas de amostragem de dados de inventário de florestas equiâneas.

2 OBJETIVOS

Criar uma aplicação *web* para processamento de dados de inventário florestal de florestas equiâneas utilizando linguagem R em uma plataforma online.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O App Inventário Florestal foi construído seguindo o fluxograma de processamento e análise de dados usualmente usada em inventário de florestas equiâneas.

A coleta de dados de inventários em florestas equiâneas geralmente é feita de forma manual, utilizando pranchetas ou coletores digitais. A coleta desses dados costuma ser mais prática e rápida quando comparado à florestas equiâneas, pois o espaçamento pré-definido das árvores facilita no caminhamento entre e dentro de parcelas. Não há a necessidade de coletar informações sobre espécie e montagem de exsicatas de espécies desconhecidas, já que essa

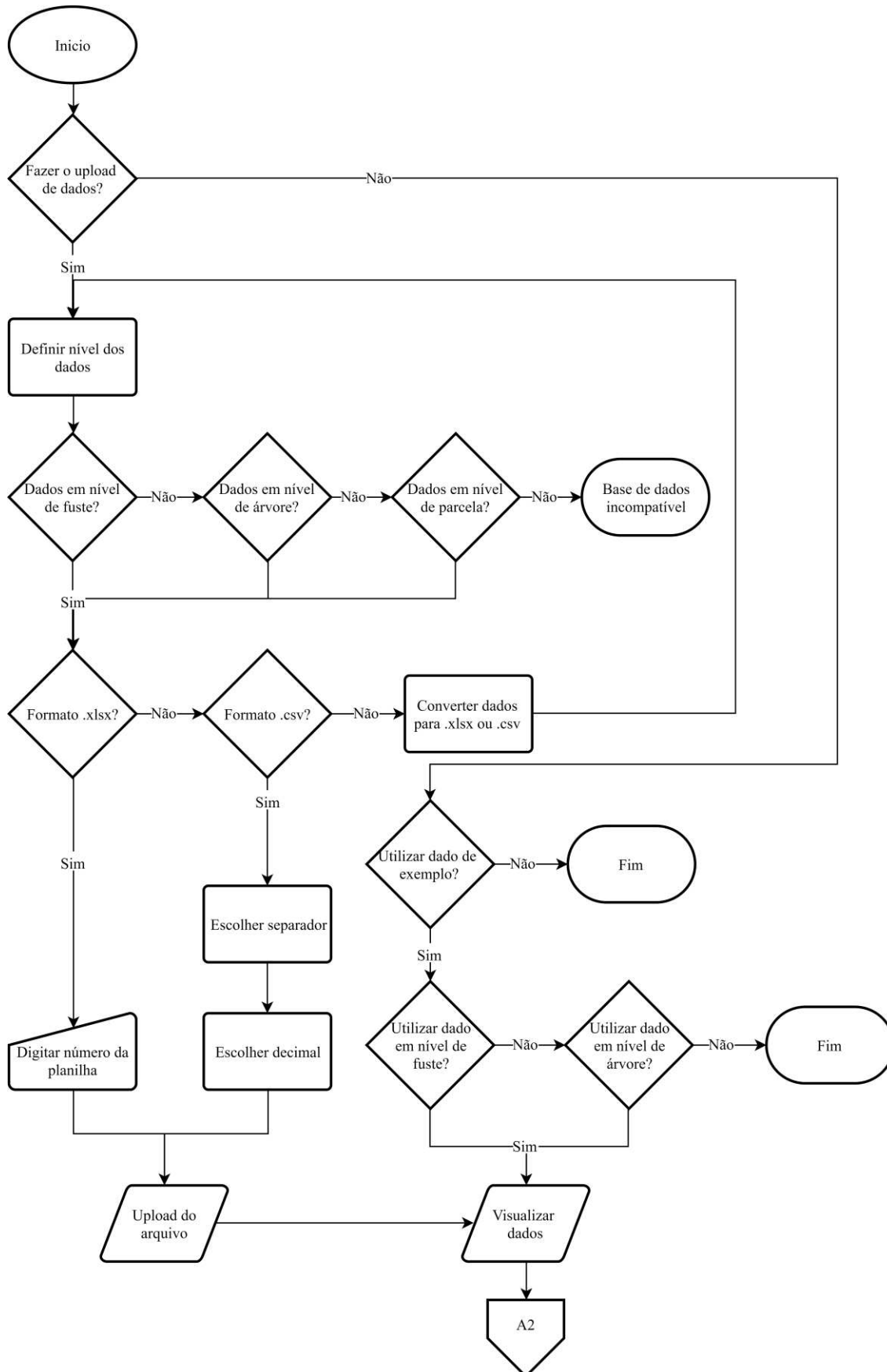
informação costuma ser obtida previamente, e todas as espécies são conhecidas. A altura é uma variável importante para as análises feitas com dados de inventário, porém, medir a altura de todas as árvores de uma parcela é um processo muito oneroso. No caso de florestas plantadas, é comum a medição de algumas árvores por parcela, entre 3 e 10 árvores, dependendo da homogeneidade da área. A altura geralmente é medida utilizando hipsômetros. Em alguns casos é comum verificar quais árvores da área são dominantes sobre as demais, quais são falhas e quais são normais. A altura dominante média da parcela é uma variável indicadora da qualidade do sítio, e é utilizada para diversas análises no manejo florestal, e pode ser encontrada em alguns modelos hipsométricos.

Florestas equiâneas podem ser plantadas utilizando material seminal ou clonal, sendo que este produz florestas mais homogêneas. Em ambos os casos, a bifurcação das árvores é rara, e pode ser controlada pelo trato silvicultural em alguns casos. Porém, alguns materiais possuem maior tendência à bifurcação do que outros. Caso haja bifurcação na área, os dados são coletados levando o fuste em consideração. Na prancheta cada linha representa um fuste, e o dado é chamado de dado em nível de fuste. Os diâmetros de cada fuste são mensurados, e depois fundidos utilizando a fórmula do diâmetro equivalente (Fórmula 1). Caso não haja bifurcações na área, o dado é coletado em nível de árvore, onde cada linha da prancheta representa uma árvore. Após a coleta, os dados são levados ao escritório, onde são processados.

O App permite a inserção de dados em nível de fuste, árvore ou parcela (cada linha da tabela representa uma árvore (Figura 73).

Após a coleta é importante consistir os dados. Nesta etapa procura-se por possíveis erros de digitação e inconsistências nos dados. Devido à quantidade e natureza dos dados, é necessário fazer essa verificação antes do processamento propriamente dito. Esse é um processo feito manualmente e geralmente muito oneroso, que deve ser feito de forma cautelosa, pois esses erros podem impactar negativamente o resultado final da análise se não forem corrigidos. No app esse processo é facilitado verificando os dados e avisando o usuário caso a razão diâmetro/altura das árvores está muito fora do padrão, se existem árvores com diâmetro e/ou altura fora do escopo de 99,7 % dos dados ($\text{média} \pm 3 \text{ desvios-padrão}$) ou valores de dap menores que 1,30 m (Figura 73).

Figura 73 — Fluxograma para App Inventário Florestal, parte 1



Fonte: Autor.

Em dados provenientes de inventários de florestas plantadas é comum se medir apenas algumas alturas, e estimar as demais utilizando um modelo hipsométrico. O modelo é ajustado com os dados de altura medidos. Esses modelos costumam ter como variável independente o dap, devido à sua direta relação com a altura. Alguns modelos adicionam outras variáveis para melhorar a estimativa, como o modelo de Campos e Leite (2017), que utiliza o inverso do dap e a altura dominante como variáveis dependentes. Os seguintes modelos hipsométricos presentes na Tabela 3 estarão disponíveis para ajuste no app.

Tabela 3 — Modelos hipsométricos disponíveis para ajuste no App Inventário Florestal

Modelo	Autor
$Ln(ht) = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{dap} + \varepsilon$	Curtis
$Ln(ht) = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap) + \varepsilon$	Henricksen
$Ln(ht) = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{dap} + \beta_2 * Ln(HD) + \varepsilon$	Campos e Leite

Fonte: (CURTIS, 1967; NASCIMENTO, 2016; CAMPOS; LEITE, 2017).

em que: *ht*= altura; *dap* = diâmetro a 1,30 do solo; *HD* = altura dominante, ε = erro padrão.

Os códigos a seguir foram utilizados para ajustar os modelos (Figura 74):

Figura 74 – Código em R para realizar ajustes de modelos hipsométricos por parcela

exemplo de ajuste do modelo com HD por parcela

`library(dplyr)`

```
tab_mod_hips <- dados %>%
  mutate(INV_DAP=1/dap, LN_HT=log(ht), LN_HD=log(HD))
  group_by(PARCELA) %>%
  do(Reg = lm(LN_HT ~ INV_DAP + LN_HD, data =.)) %>%
  mutate(b0=coef(Reg)[1],
         b1=coef(Reg)[2],
         b2=coef(Reg)[3],
         Rsqr=summary(Reg)[[9]],
         Std.Error=summary(Reg)[[6]]) %>%
  select(-Reg)
```

ou utilizando o pacote forestmangr:

`library(forestmangr)`

```
tab_mod_hips <- lm_table(dados, log(ht) ~ inv(dap) + log(HD), .groups = "PARCELA")
```

Fonte: Autor.

Para avaliar a qualidade dos ajustes, é comum a avaliação de parâmetros como R^2 e erro-padrão do ajuste. Porém estes nem sempre representam a qualidade real do ajuste. Modelos com R^2 alto podem ainda assim não produzir resultados satisfatórios, e vice-versa. Outra forma de verificar a qualidade do ajuste de modelos é utilizando gráficos de resíduos em porcentagem. Para gerar esses gráficos, é feito o cálculo do erro ou resíduo da estimativa com base na variável observada (Fórmulas 40 e 41) (CAMPOS; LEITE, 2017).

Apesar de existirem diversos métodos de estimativa de volume, o uso de modelos de árvore individual é o mais comum em inventários florestais. Com a altura de todas as árvores calculadas, modelos de árvore individual que além do diâmetro, possuem altura como variável independente podem ser utilizados para a estimação de volume. Esses modelos costumam estimar o volume com maior exatidão quando comparados a modelos que utilizam apenas o diâmetro, devido à relação direta da altura com o volume das árvores.

As análises de distribuição permitem verificar quais as classes de diâmetro e altura mais contribuem para o volume da floresta, e a se a esta possui uma distribuição próxima da normalidade. A análise de qualidade permite ao usuário visualizar qual a porcentagem de árvores normais, mortas e dominantes de sua área, por exemplo. O app permite que o usuário realize essas análises para facilitar a exploração dos dados (Figura 74).

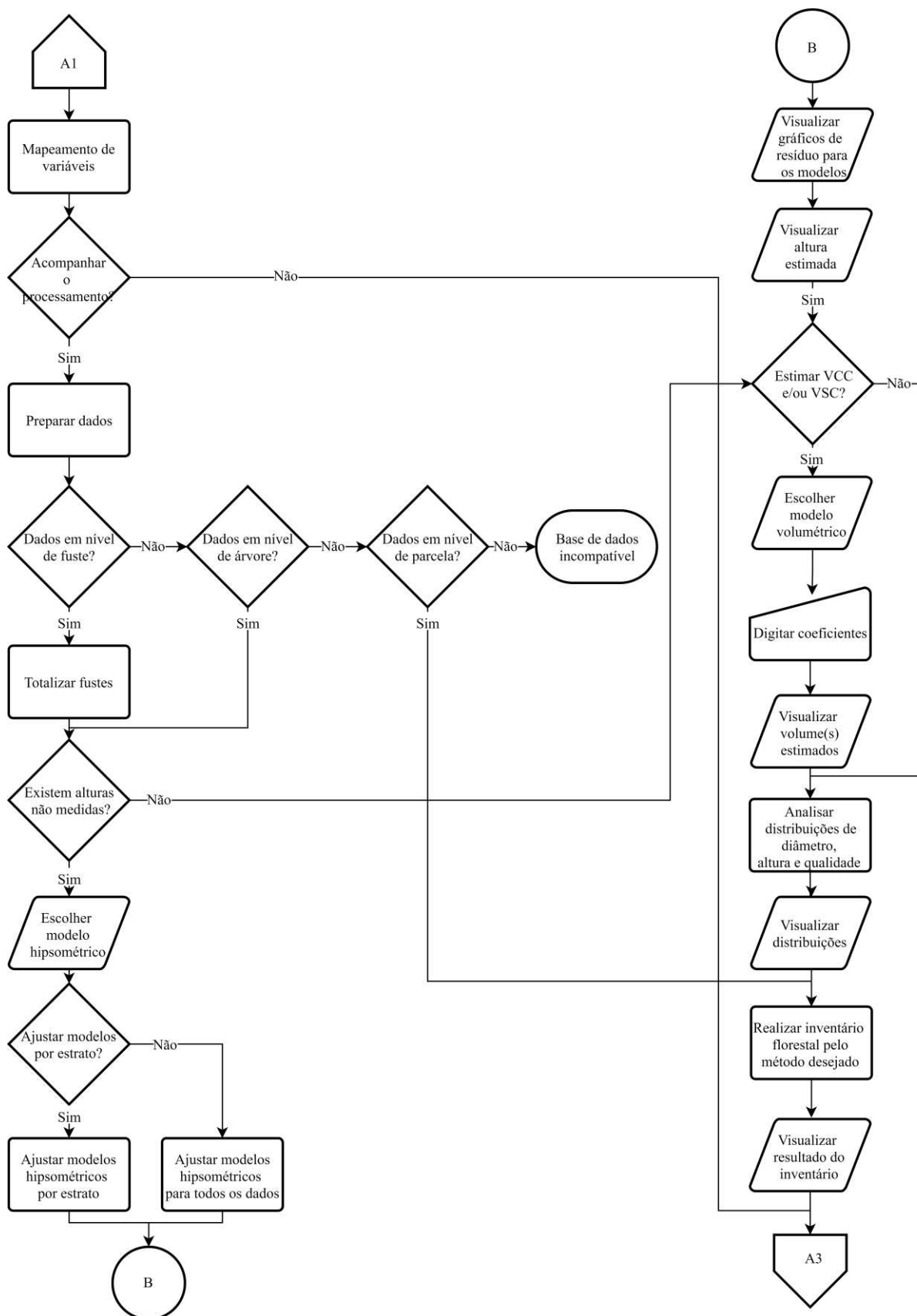
Para calcular as estatísticas do inventário florestal, é necessário primeiramente calcular valores por parcela, ou trazer o dado para nível de parcela. No caso do inventário para estimativas de volume, calcula-se o volume total de cada parcela. Outras variáveis também são calculadas nessa etapa, como área basal, número de indivíduos por hectare, diâmetro quadrático, entre outras. Após essa etapa, já é possível realizar o cálculo do erro (Figura 75). No app, foram disponibilizados três tipos de amostragem: casual simples, casual estratificada, e sistemática (Fórmulas 24 a 33). A escolha do método de amostragem a ser utilizado depende do objetivo do inventário, da equipe disponível, orçamento e diversas variáveis. Por isso o planejamento é essencial nesses projetos.

Após o processamento, os dados são organizados em relatórios, que podem ser utilizados para descrever estimativas de área, quantidade e qualidade de diferentes recursos florestais, estimativas de crescimento (caso o inventário seja feito mais de uma vez). Relatórios enviados para órgãos governamentais para autorização de intervenções precisam ter informações de volume, intervalo de confiança do volume real do local. No caso de plantios monoculturais de florestas, não há a necessidade de estudos fitossociológicos. A precisão dessas

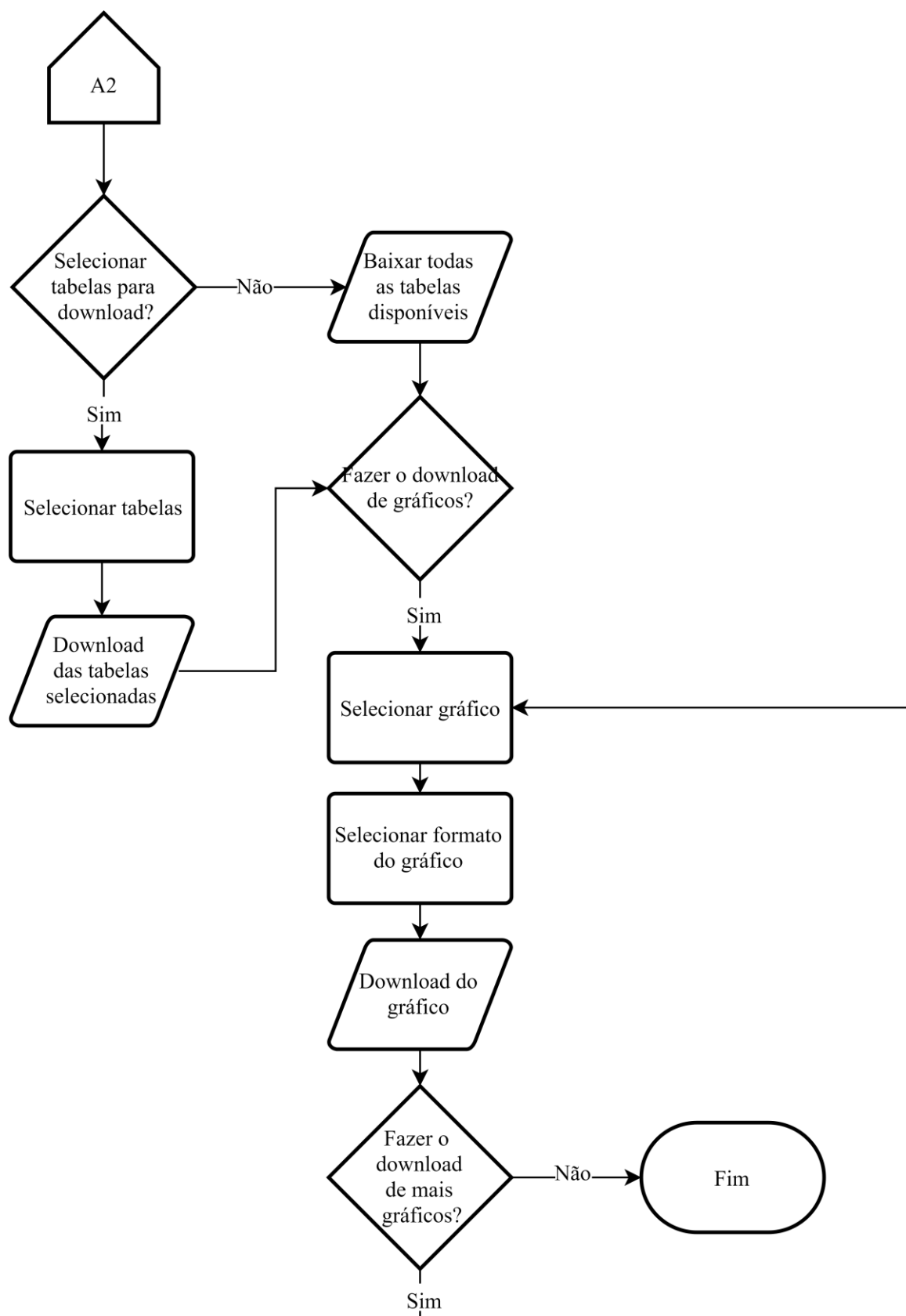
informações é importante para a realização de um relatório de qualidade.

Na última aba do *app*, o usuário tem a opção de fazer o download das análises anteriormente realizadas, desde que os dados tenham sido corretamente inseridos, e as variáveis devidamente mapeadas. O download pode ser feito para as tabelas selecionadas manualmente, ou clicando no botão que permite fazer o download de todas as tabelas disponíveis. Uma planilha eletrônica no formato *.xlsx* contendo os resultados será gerada, e salva na pasta de downloads padrão do usuário. Já os gráficos deverão ser selecionados e salvos um a um. Da lista de gráficos, o usuário escolhe, visualiza, seleciona o formato desejado (*.png*, *.jpg* ou *.pdf*) para realizar o download. O arquivo é salvo na pasta padrão de downloads do usuário. As imagens são geradas sempre em 300 dpi (Figura 76).

Figura 75 — Fluxograma para App Inventário Florestal, parte 2



Fonte: Autor.

Figura 76 — Fluxograma para App Inventário Florestal, parte 3

Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após criado, o *web app* App Inventário Florestal foi carregado no servidor contratado, e disponibilizado online por meio de um ip fixo. A identidade do aplicativo foi desenhado de forma semelhante aos apps Cubagem e Inventário de Nativas, a partir de uma barra superior, contendo abas sequencialmente organizadas. Cada aba apresentou sub-abas, unindo análises estatísticas semelhantes ou sequencialmente coerentes (Figura 77).

Figura 77 — Aba de introdução ao App Inventário Florestal



Fonte: Autor.

Inicialmente o usuário precisa fazer o upload dos dados coletados em campo. Assim como no App Inventário de Nativas, para ilustrar e orientar os materiais de apoio, foi incluído no App dados de inventário como exemplo. O usuário pode inserir os seus dados tanto em nível de fuste, árvore ou parcela (Figura 78).

O formato do arquivo de entrada pode ser valores separados por vírgula (*comma-separated values – csv*), ou em planilha eletrônica formato padrão do *Microsoft Excel* 2007 ou superior (*xlsx*). Esses formatos foram escolhidos por serem os mais utilizados para armazenar dados de inventário florestal. Como existem variações de separador de colunas e separador decimal no formato *csv*, a tela de importação permite que o usuário defina estes parâmetros. Na importação de arquivos *xlsx*, é necessário definir qual das abas será importada. Por definição, a primeira aba da planilha vem selecionada por padrão. Após o upload, os dados são apresentados na janela do app (Figura 79).

Figura 78 — Aba de upload no App Inventário Florestal

App Inventário Florestal 2.0.4 Intro **Importação** Mapeamento de variáveis Preparação Totalização de fustes Altura e volume Distribuições e gráficos Inventário Download

Please import a dataset

Dados

Fazer o upload de um arquivo, ou utilizar o dado de exemplo?

- ☒ Fazer o upload
- ☐ Utilizar o dado de exemplo em nível de fuste
- ☐ Utilizar o dado de exemplo em nível de árvore
- ☐ Utilizar o dado de exemplo em nível de parcela

Tipo da base de dados:

- ☐ Dados em nível de fuste
- ☒ Dados em nível de árvore
- ☐ Dados em nível de parcela

Informe o formato do arquivo:

- ☒ .csv (Valor separado por vírgulas) ou .txt (arquivo de texto)
- ☐ .xlsx (Excel)

Separador:

- ☒ Virgula
- ☐ Ponto e Virgula
- ☐ Tabulação

Decimal:

- ☒ Ponto
- ☐ Virgula

Selecione o arquivo: (.csv ou .txt)

Fonte: Autor.

Figura 79 — Dados de exemplo em nível de árvore no App Inventário Florestal

App Inventário Florestal 2.0.4 Intro **Importação** Mapeamento de variáveis Preparação Totalização de fustes Altura e volume Distribuições e gráficos Inventário Download

Show 25 entries Search:

	TALHAO	AREA_TALHAO	ESPAC	PARCELA	AREA_PARCELA	COVA	DAP	HT	OBS	AS
1	2	45	3x3	1	810	1	15	23.8	N	0.017671459
2	2	45	3x3	1	810	2	13	23.8	N	0.013273229
3	2	45	3x3	1	810	3	15	24.7	N	0.017671459
4	2	45	3x3	1	810	4	13.5	23.3	N	0.014313882
5	2	45	3x3	1	810	5	15	24.3	N	0.017671459
6	2	45	3x3	1	810	6	14	22.4	N	0.015393804
7	2	45	3x3	1	810	7	16	23.9	N	0.020106193
8	2	45	3x3	1	810	8	15	24.2	N	0.017671459
9	2	45	3x3	1	810	9	13.5	22.6	N	0.014313882
10	2	45	3x3	1	810	10	15	24.1	N	0.017671459

Fonte: Autor.

Na aba Mapeamento o usuário define quais variáveis do dado inserido são referentes às utilizadas pelo app. O mapeamento é obrigatório para as variáveis: Circunferência (CAP) ou Diâmetro (DAP), Altura total e Parcela. Variáveis de valor de área são essenciais às análises, porém podem ser inseridas como valor numérico na aba preparação, caso não sejam mapeadas. Uma vez mapeado, todas as demais abas do app seguirão as associações indicadas. O app foi programado para tentar associar as colunas do arquivo com as variáveis do app de forma automática com base no nome da coluna. No entanto, é importante que o usuário confira se a associação está correta, ou completo os casos em que o app não tenha conseguido realizar a associação. (Figuras 80 e 81).

Figura 80 — Aba Mapeamento de variáveis no App Inventário Florestal, parte 1

App Inventário Florestal 2.0.4 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação Totalização de fustes Altura e volume Distribuições e gráficos Inventário Download

Definição dos nomes das variáveis

Circunferência (CAP)*

Selecione o nome da variável referente à CAP:

selecione uma coluna abaixo

Diâmetro (DAP)*

Selecione o nome da variável referente à DAP:

Caso o CAP seja fornecido, o DAP será calculado automaticamente

DAP

Altura total*

Selecione o nome da variável referente à altura total:

HT

Árvore

Selecione o nome da variável referente à árvore:

Esta variável é necessária para o processamento de dados em nível de fuste

selecione uma coluna abaixo

Parcela*

Selecione o nome da variável referente à parcela:

PARCELA

Área da parcela

Selecione o nome da variável referente à área da parcela (m²):

AREA_PARCELA

Área total

Selecione o nome da variável referente à área total (ha):

Estrato

Selecione o nome da variável referente à estrato:

Observações

Selecione o nome da variável referente à observação ou qualidade das árvores:

Fonte: Autor.

Figura 81 — Aba Mapeamento de variáveis no App Inventário Florestal, parte 2

Área total

Selecione o nome da variável referente à área total (ha):

AREA_TALHAO

Estrato

Selecione o nome da variável referente à estrato:

TALHAO

Observações

Selecione o nome da variável referente à observação ou qualidade das árvores:

OBS

Altura dominante

Selecione o nome da variável referente à altura dominante:

selecione uma coluna abaixo

Idade

Selecione o nome da variável referente à idade:

IDADE

Volume com casca

Selecione o nome da variável referente à volume com casca:

Caso o dado não possua uma coluna de volume, este pode ser calculado na aba 'Preparação'

selecione uma coluna abaixo

Volume sem casca

Selecione o nome da variável referente à Volume sem casca:

Caso o dado não possua uma coluna de volume, este pode ser calculado na aba 'Preparação'

selecione uma coluna abaixo

Fonte: Autor.

Na aba de preparação o usuário pode configurar os gráficos gerados na aba de análise descritiva, inserir valores de área e determinar as árvores dominantes (Figuras 82 e 83).

Figura 82 — Aba de preparação de dados do App Inventário Florestal

App Inventário Florestal 2.0.4 Intro Importação Mapeamento de variáveis **Preparação** Totalização de fustes Altura e volume Distribuições e gráficos Inventário Download

Preparação dos dados

Variáveis para gráficos de classe de diâmetro

Intervalo de classe

Insira o intervalo de classe:

Diâmetro mínimo

Insira o diâmetro mínimo:

Variáveis para gráfico de classe de altura

Intervalo de classe

Insira o intervalo de classe:

Altura mínima

Insira o diâmetro mínimo:

Dado pos preparação Dados inconsistentes

Show 25 entries Search:

	HD	TALHAO	AREA_TALHAO	ESPAC	PARCELA	AREA_PARCELA	COVA	DAP	HT	OBS	AS
1	25,04	2	45	3x3	1	810	1	15	23.8	N	0.0177
2	25,04	2	45	3x3	1	810	2	13	23.8	N	0.0133
3	25,04	2	45	3x3	1	810	3	15	24.7	N	0.0177
4	25,04	2	45	3x3	1	810	4	13.5	23.3	N	0.0143
5	25,04	2	45	3x3	1	810	5	15	24.3	N	0.0177
6	25,04	2	45	3x3	1	810	6	14	22.4	N	0.0154
7	25,04	2	45	3x3	1	810	7	16	23.9	N	0.0201
8	25,04	2	45	3x3	1	810	8	15	24.2	N	0.0177
9	25,04	2	45	3x3	1	810	9	13.5	22.6	N	0.0143
10	25,04	2	45	3x3	1	810	10	15	24.1	N	0.0177
11	25,04	2	45	3x3	1	810	11	15	25.4	N	0.0177
12	25,04	2	45	3x3	1	810	12	14.5	24.3	N	0.0165
13	25,04	2	45	3x3	1	810	13	16	24.9	D	0.0201
14	25,04	2	45	3x3	1	810	14	14	23.8	N	0.0154
15	25,04	2	45	3x3	1	810	15	16	24.3	D	0.0201

Fonte: Autor.

Figura 83 — Caixas adicionais da aba Preparação no App Inventário Florestal

Área da parcela (m²) (numérico)

Insira o valor para a Área da parcela:

Área total (ha) (numérico)

Insira o valor para a Área total:

Altura dominante

A altura dominante média será estimada utilizando a variável de observação. Caso esta não seja selecionada, o cálculo será feito utilizando a média das maiores árvores.

Selecione o código que define as árvores dominantes:

Estimar altura dominante?

☒ Sim ☐ Não

Fonte: Autor.

Na aba preparação também é possível verificar a consistência dos dados. Algoritmos especialmente implementados buscam inconsistências associadas às variáveis altura e diâmetro, nome de espécie repetidos, espécies vazias, espécies com espaço vazio no final da frase, dentro outros. Os resultados inconsistentes são apresentados, porém caberá sempre ao usuário decidir se esses devem ser removidos, corrigidos ou mantidos (Figura 84).

Figura 84 — Verificação da consistência de dados do App Inventário Florestal

Preparação dos dados

Variáveis para graficos de classe de diametro

Intervalo de classe

Insira o intervalo de classe:

Diâmetro mínimo

Insira o diâmetro mínimo:

Variáveis para grafico de classe de altura

Intervalo de classe

Insira o intervalo de classe:

Altura mínima

Insira o diâmetro mínimo:

Transformar zero em NA

Transformar zeros em variáveis numéricas em NA? (recomendado)

Dado pos preparação
Dados inconsistentes

Dados inconsistentes:

Analise os dados a seguir e clique nas linhas que desejar remover da analise.

Em seguida basta selecionar a opção 'Sim' àbaixo, e os dados serão removidos.

Remover linhas selecionadas da tabela de dados inconsistentes?

☐ Sim ☒ Nao

Show 10 entries Search:

rowid	DAP_test	HT_test	ratio_test	PARCELA	DAP_mean	HT_mean	DAP_sd	HT_sd	TALHAO	
1	16	DAP menor que media - 3 sd	Altura menor que media - 3 sd	ok	1	14,17	23,91	1,17	1,72	2
2	49	DAP menor que media - 3 sd	ok	ok	1	14,17	23,91	1,17	1,72	2
3	136	DAP menor que media - 3 sd	ok	ok	2	14,45	24,09	1,47	1,01	2
4	165	DAP menor que media - 3 sd	ok	ok	2	14,45	24,09	1,47	1,01	2
5	188	DAP menor que media - 3 sd	ok	ok	3	12,85	19,93	0,97	0,96	2
6	165	DAP maior que media + 3 sd	ok	ok	2	14,45	24,09	1,47	1,01	2

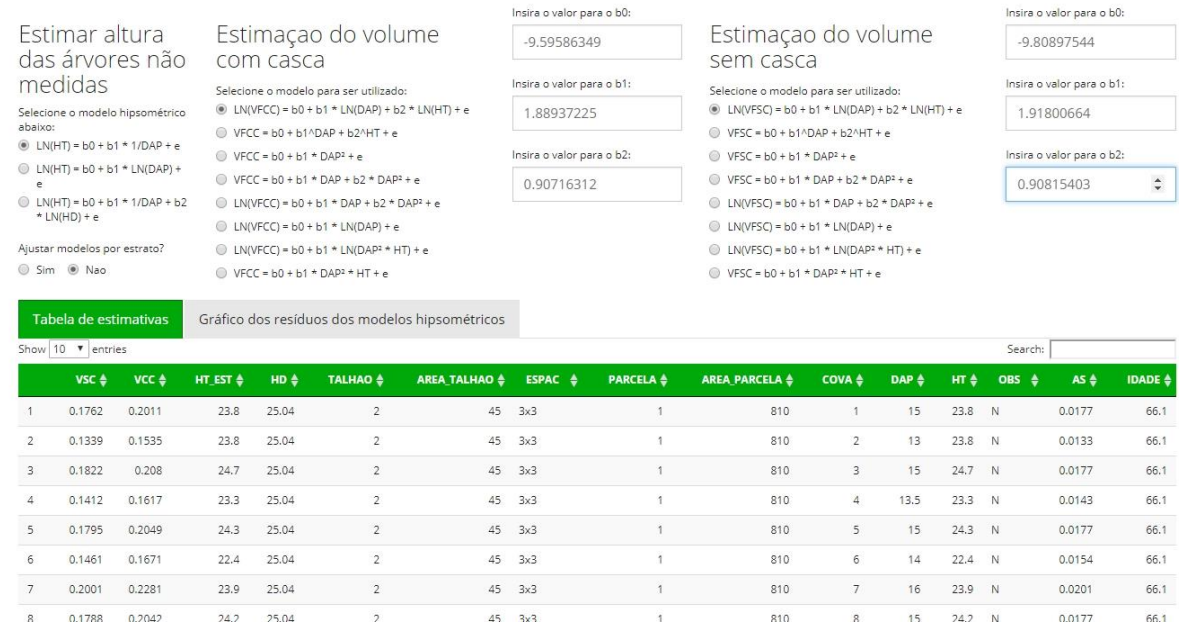
Fonte: Autor.

Foi necessário a inclusão da aba “Totalização de fustes” para lidar com bases de dados que sejam informadas em nível de fuste, assim como no App Inventário de Nativas. É importante salientar que esta aba só apresentará algum resultado para bases de dados em nível de fuste.

Na aba Altura e volume é possível escolher entre uma lista de modelos hipsométricos e estimar a altura das árvores não medidas. O *web app* irá verificar se existem alturas não medidas no dado, e caso existam, uma lista de modelos hipsométricos ficam disponível para que o usuário escolha o mais adequado. É possível ajustar os modelos por alguma variável classificatória, como talhão, espécie ou espaçamento. Gráficos de resíduos percentuais dos modelos são disponibilizados para auxiliar nesta decisão. Nessa aba também é possível estimar o volume com casca e sem casca inserindo os valores dos coeficientes de equações previamente obtidas. A opção de estimar o volume só fica disponível caso o usuário não tenha mapeado uma variável referente a volume (Figuras 85, 86, 87, 88 e 89).

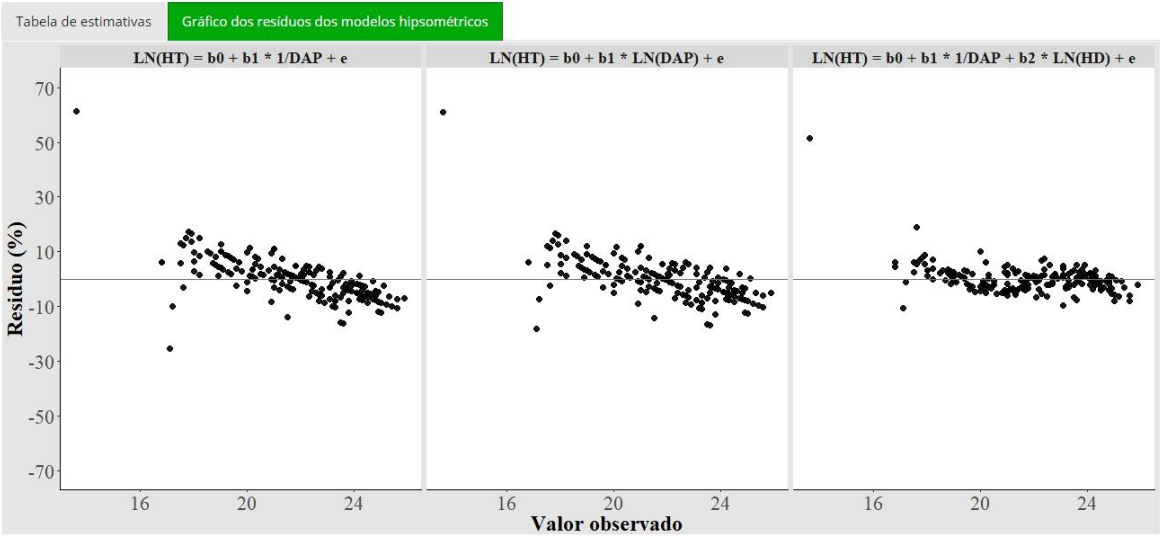
Figura 85 — Estimativa dos volumes com casca e sem casca no App Inventário Florestal

Estimativas de altura e volume



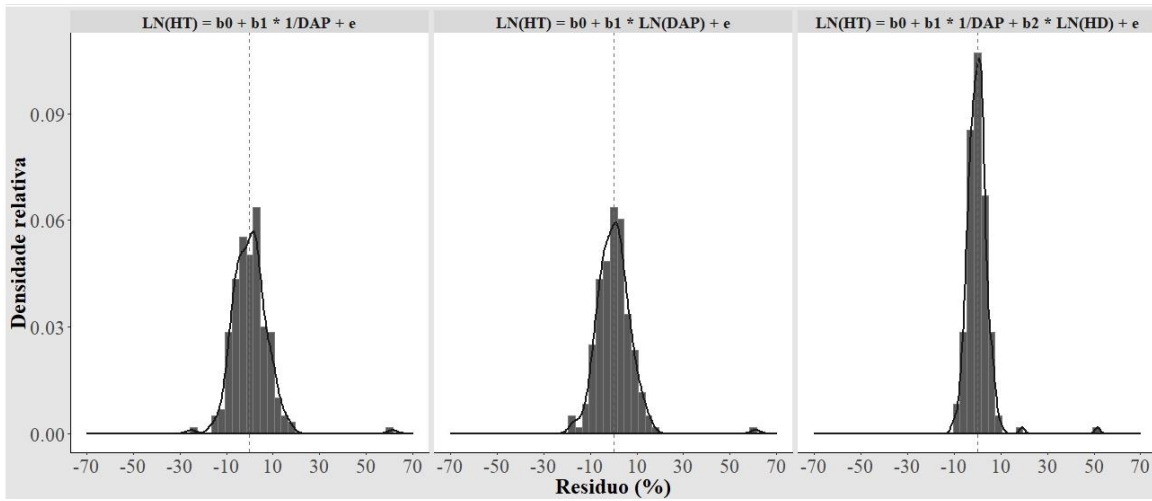
Fonte: Autor.

Figura 86 — Gráficos da dispersão dos resíduos no App Inventário Florestal



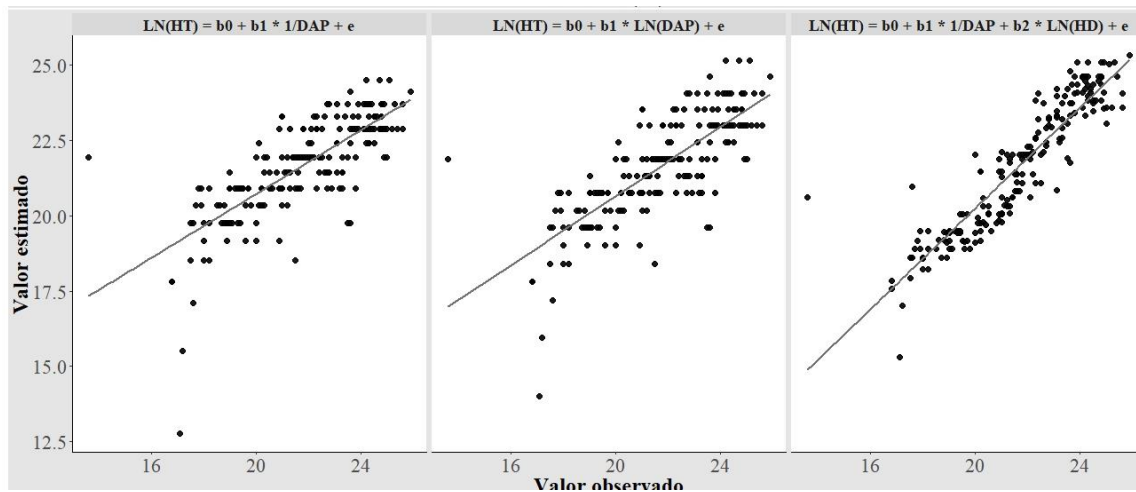
Fonte: Autor.

Figura 87 — Histograma dos resíduos no App Inventário Florestal



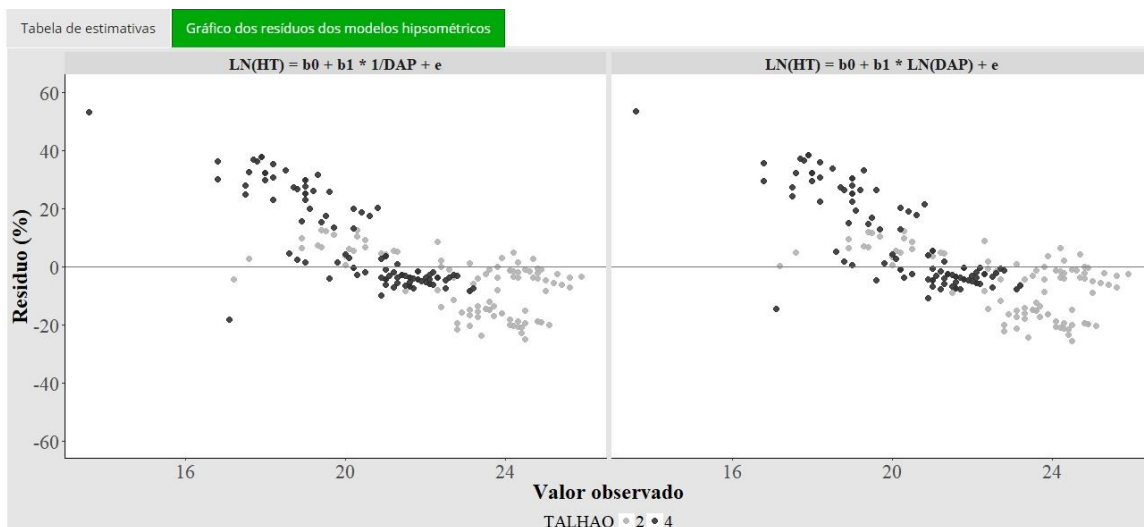
Fonte: Autor.

Figura 88 — Gráficos de valores observados versus estimados no App Inventário Florestal



Fonte: Autor.

Figura 89 — Gráficos da dispersão dos resíduos por talhão no App Inventário Florestal



Fonte: Autor.

Na aba Análise descritiva são feitas análises de distribuições de diâmetro e qualidade das árvores. Estas análises são feitas utilizando tabelas de distribuições de número de indivíduos, volume, e área basal por classe de diâmetro. Também é analisada a distribuição dos indivíduos por classes de altura, e a distribuição dos dados de acordo com a variável de qualidade das árvores, caso esta seja mapeada (Figuras 90 a 98).

Figura 90 — Tabela da distribuição diamétrica no App Inventário Florestal

App Inventário Florestal 2.0.4

Intro

Importação

Mapeamento de variáveis

Preparação

Totalização de fustes

Altura e volume

Análise descritiva

Inventário

Download

Análise descritiva

Tabela da distribuição diamétrica

Gráfico do N° de indivíduos por ha por classe diamétrica

Gráfico do volume por ha por classe diamétrica

Gráfico de G por ha por classe diamétrica

Tabela da distribuição de Altura

Gráfico dos indivíduos por ha por classe de altura

Tabela de frequência para a variável Qualidade

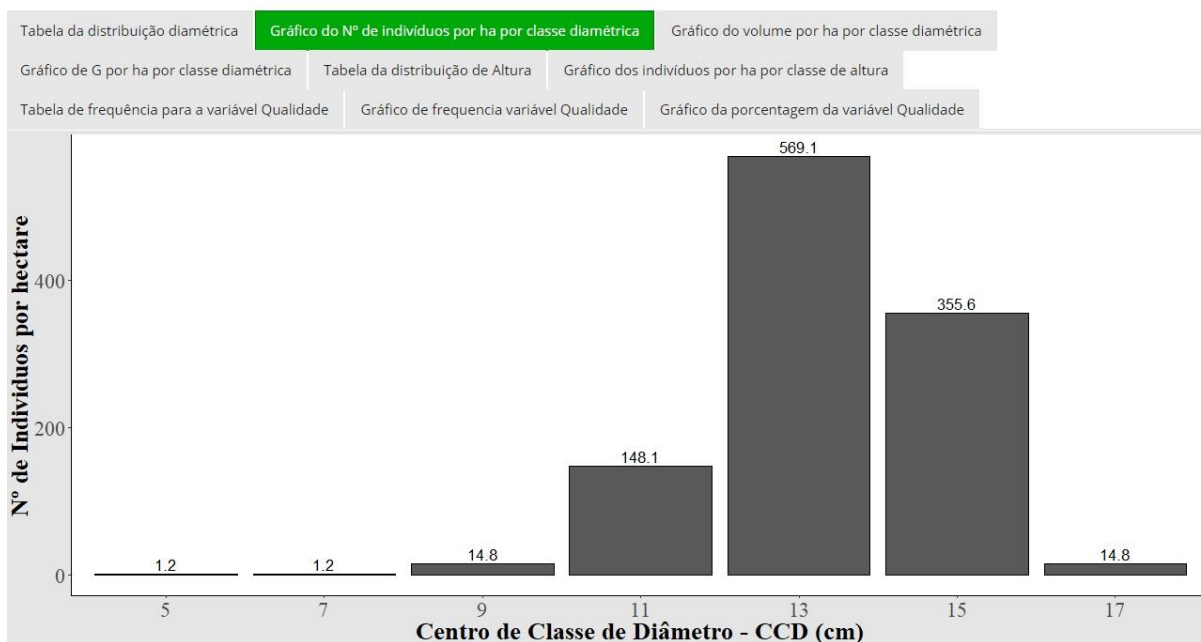
Gráfico de frequência variável Qualidade

Gráfico da porcentagem da variável Qualidade

CC	NumIndv	IndvHA	G	G_ha	DR
5	1	1,2	0	0	0,11
7	1	1,2	0	0,01	0,11
9	12	14,8	0,09	0,11	1,34
11	120	148,1	1,29	1,59	13,41
13	461	569,1	6,5	8,03	51,51
15	288	355,6	5,21	6,44	32,18
17	12	14,8	0,27	0,33	1,34

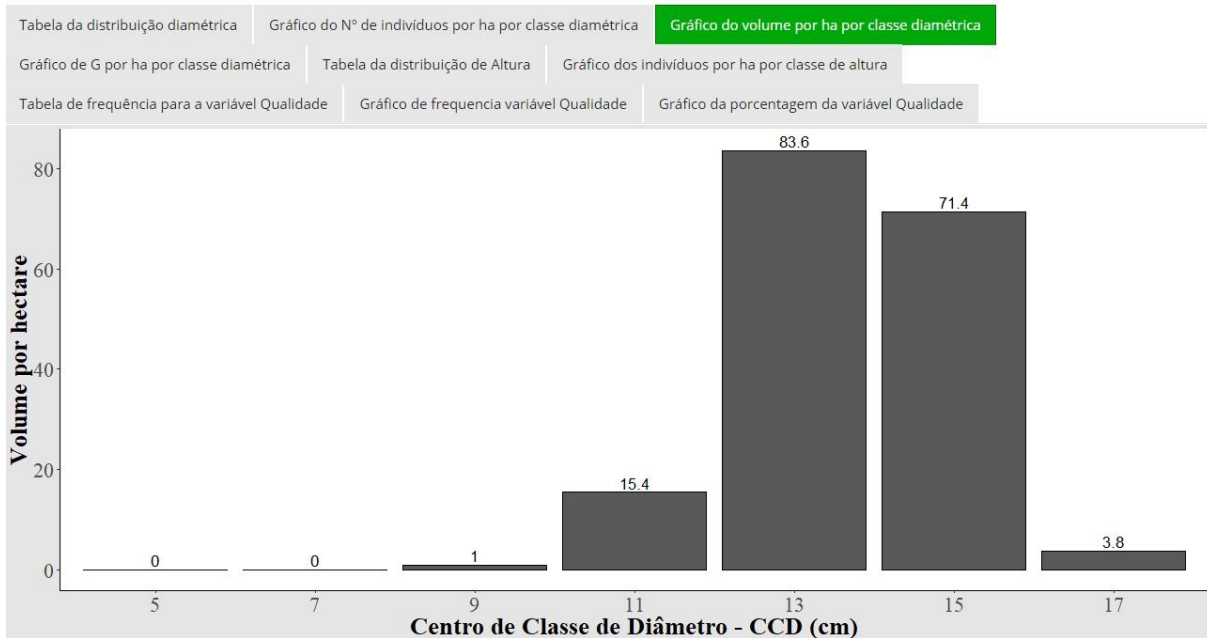
Fonte: Autor.

Figura 91 — Gráfico do número de indivíduos por hectare por classe diamétrica no App Inventário Florestal



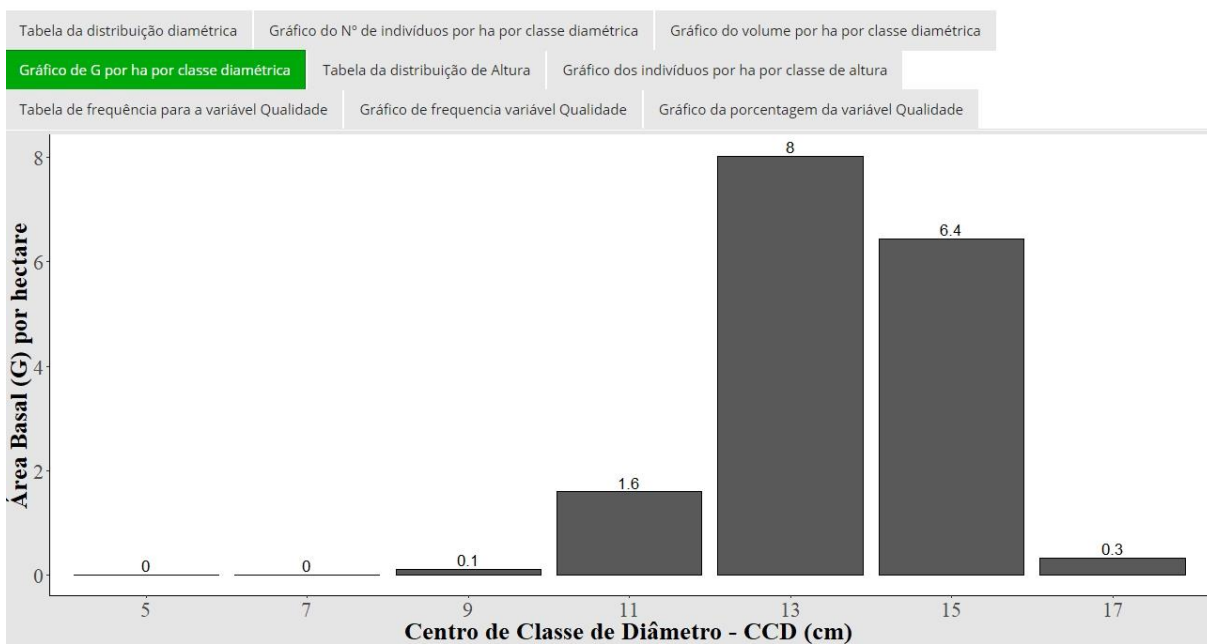
Fonte: Autor.

Figura 92 — Gráfico do volume com casca por hectare por classe diamétrica no App Inventário Florestal
Análise descritiva



Fonte: Autor.

Figura 93 — Gráfico da área basal por hectare por classe diamétrica no App Inventário Florestal
Análise descritiva



Fonte: Autor.

Figura 94 — Tabela da distribuição da altura no App Inventário Florestal

App Inventário Florestal 2.0.5 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação Totalização de fustes Altura e volume **Análise descritiva** Inventário Download

Análise descritiva

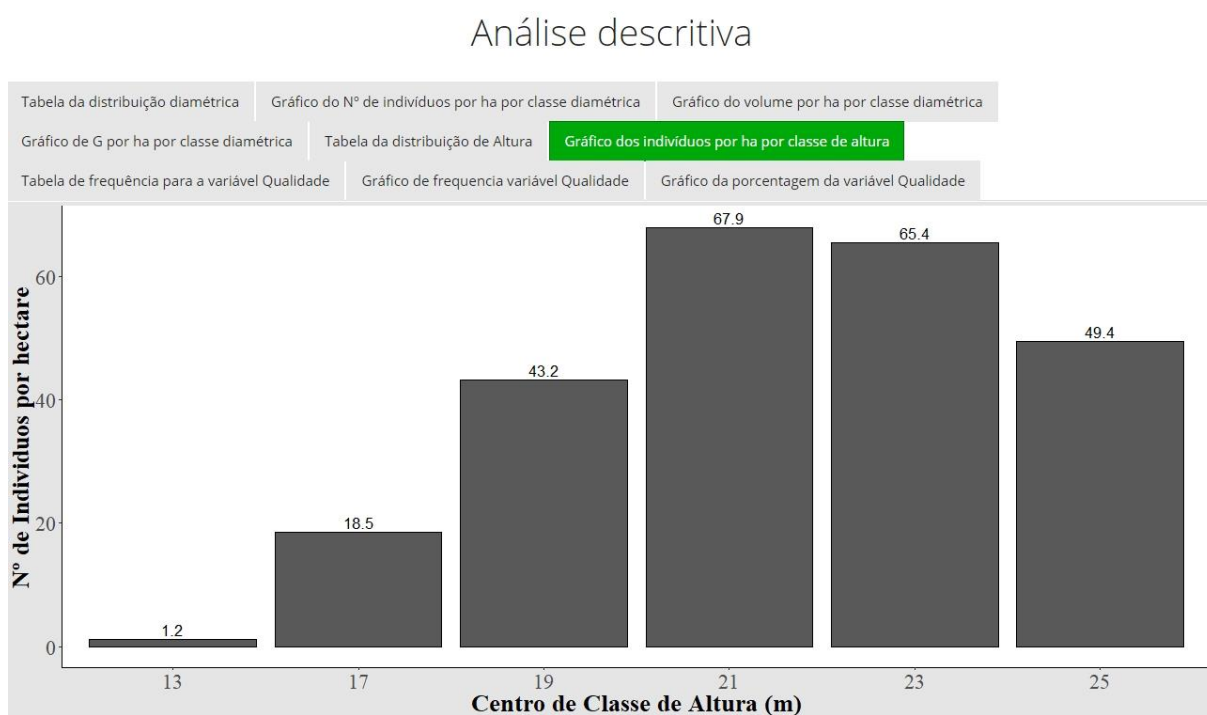
Tabela da distribuição diamétrica Gráfico do N° de indivíduos por ha por classe diamétrica Gráfico do volume por ha por classe diamétrica

Gráfico de G por ha por classe diamétrica **Tabela da distribuição de Altura** Gráfico dos indivíduos por ha por classe de altura

Tabela de frequência para a variável Qualidade Gráfico de frequência variável Qualidade Gráfico da porcentagem da variável Qualidade

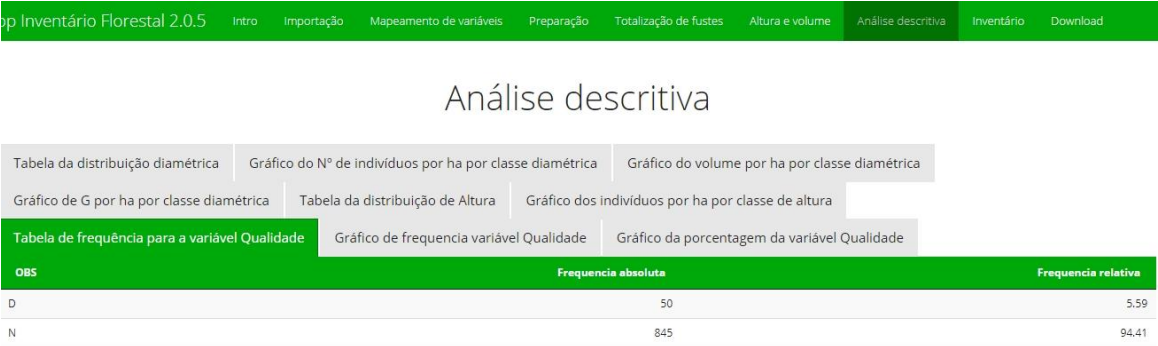
CC	NumIndv	IndvHA	DR
13	1	1,2	0,5025
17	15	18,5	7,5377
19	35	43,2	17,5879
21	55	67,9	27,6382
23	53	65,4	26,6332
25	40	49,4	20,1005

Fonte: Autor.

Figura 95 — Gráfico do número de indivíduos por ha por hectare por classe de altura no App Inventário Florestal

Fonte: Autor.

Figura 96 — Tabela de frequência para a variável Qualidade no App Inventário Florestal



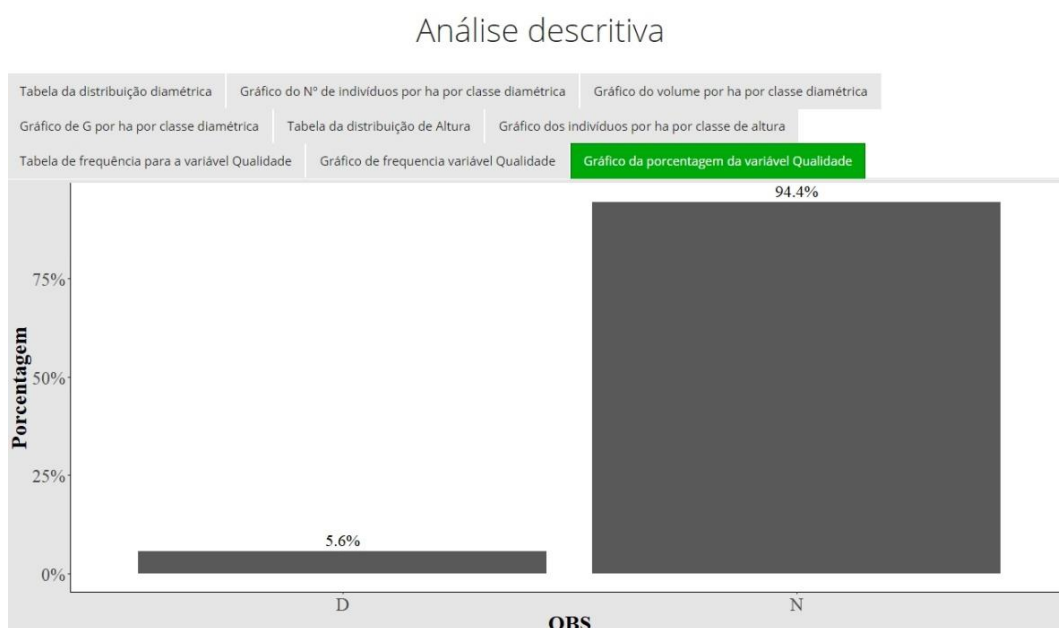
Fonte: Autor.

Figura 97 — Gráfico de frequência absoluta para a variável Qualidade no App Inventário Florestal



Fonte: Autor.

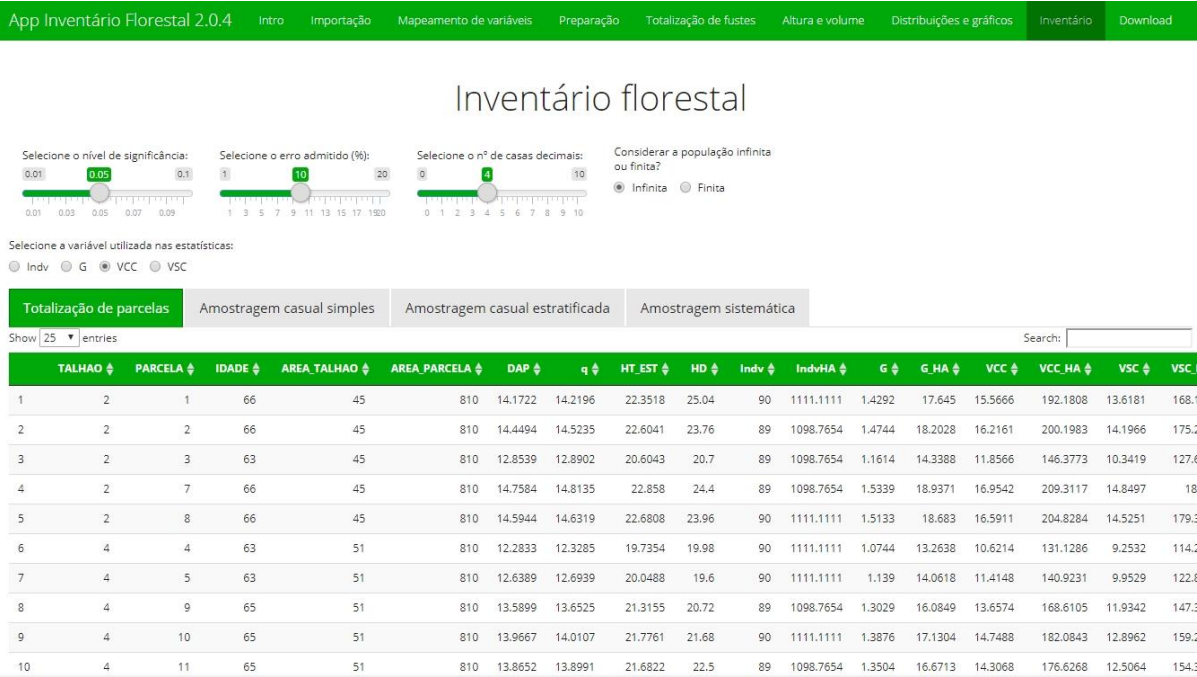
Figura 98 — Gráfico de frequência relativa para a variável Qualidade no App Inventário Florestal



Fonte: Autor.

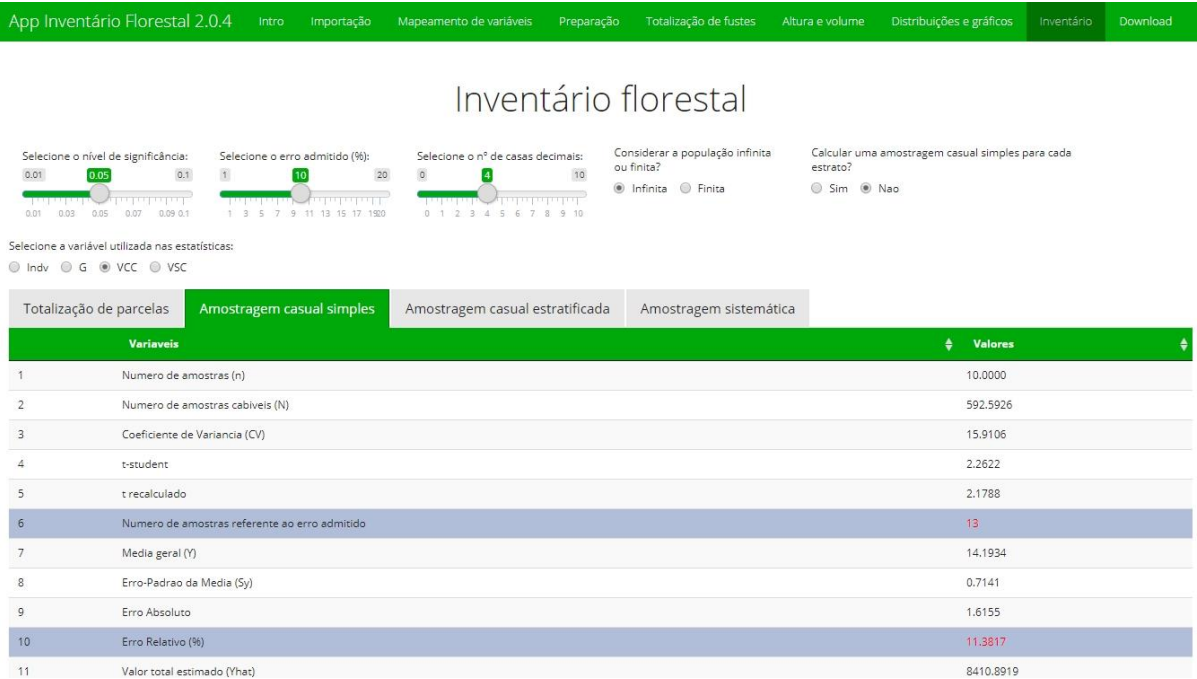
Em seguida a etapa final de processamento do App Inventário Florestal é apresentada, o inventário florestal. Na sub-aba totalização de parcelas, o volume por parcela em m^3 e m^3/ha é calculado, assim como número de indivíduos por parcela e área basal. Nas demais sub-abas, o usuário tem a opção estimar as estatísticas do inventário utilizando 3 métodos diferentes: amostragem casual simples, amostragem casual estratificada e amostragem sistemática. O usuário pode alterar diversos parâmetros das estimativas, como nível de significância do inventário, erro máximo desejado, tipo de população (finita ou infinita) e número de casas decimais mostradas. Além disso é possível realizar diversos inventários casuais simples ou sistemáticos por talhão, caso essa variável tenha sido mapeada. Em todos os casos, informações como n mínimo para o erro estimulado, produção total, erro do inventário e intervalos de confiança são gerados para a análise escolhida (Figuras 99 a 104).

Figura 99 — Totalização das parcelas no App Inventário Florestal

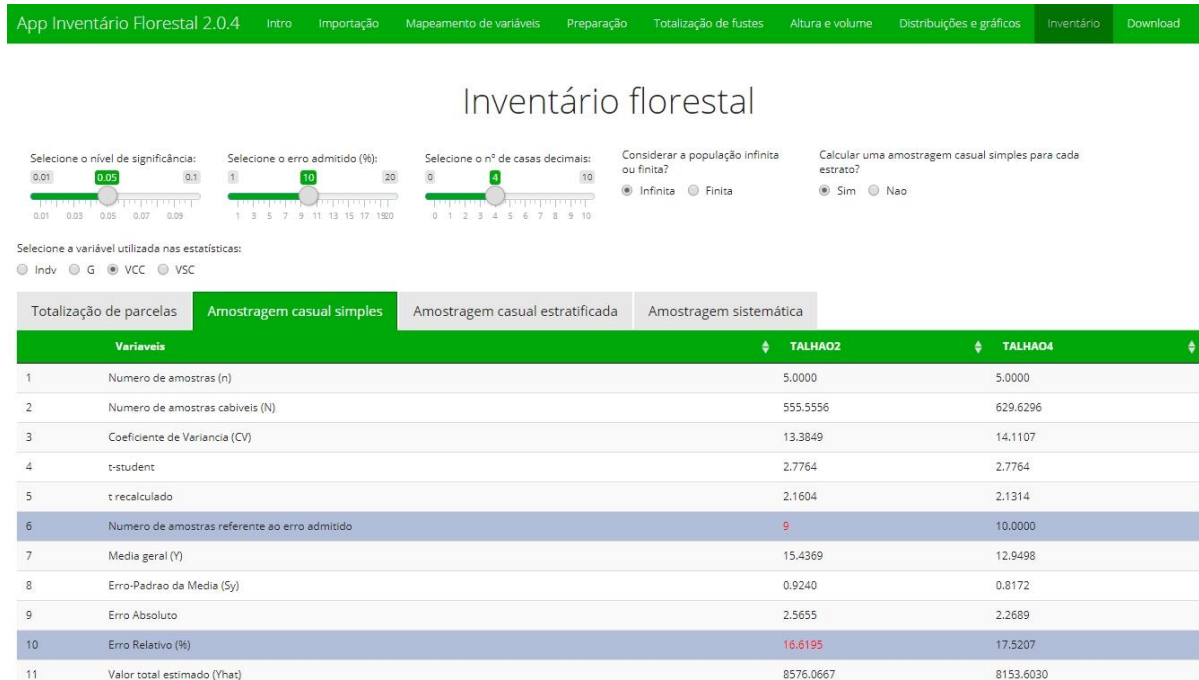


Fonte: Autor.

Figura 100 — Amostragem casual simples no App Inventário Florestal



Fonte: Autor.

Figura 101 — Amostragem casual simples por talhão no App Inventário Florestal

Fonte: Autor.

Figura 102 — Amostragem casual estratificada no App Inventário Florestal, parte 1

Totalização de parcelas	Amostragem casual simples	Amostragem casual estratificada	Amostragem sistemática
Variáveis		TALHAO 2	TALHAO 4
1	Área da parcela	810	810
2	numero de amostras / estrato (nj)	5	5
3	Numero de amostras cabíveis / estrato (Nj)	555.5556	629.6296
4	Numero de amostras cabíveis (N)	1185.1852	1185.1852
5	Proporcao Nj/N (Pj)	0.4688	0.5312
6	Somatorio por estrato (Eyj)	77.1846	64.7492
7	Soma quadratica do por estrato (Eyj ²)	1208.5694	851.848
8	Media do volume por estrato (Yj)	15.4369	12.9498
9	PjSj ²	2.0012	1.7739
10	PjSj	0.9685	0.9708
11	PjYj	7.2361	6.8796
12	EPjSj ²	3.7751	3.7751
13	EPjSj	1.9393	1.9393
14	Media Estratificada (Y)	14.1157	14.1157
15	Coeficiente de Variância (CV)	13.7386	13.7386
16	t-student	2.2622	2.2622
17	t-student recalculado	2.2622	2.2622
18	Numero de amostras referente ao erro admitido	10	10
19	Numero otimo de amostras por estrato (nj otimo)	5	6
20	numero otimo de amostras (n otimo)	11	11

Fonte: Autor.

Figura 103 — Amostragem casual no App Inventário Florestal, parte 2

	Variáveis	↑ value ↓
1	t-student	2.2622
2	Erro-Padiao da Media (Sy)	0,6133
3	Media estratificada (Y)	14,1157
4	Erro Absoluto	1,3873
5	Erro Relativo (%)	9,828
6	Valor total estimado (Yhat)	16729,6696
7	Erro Total	1644,1920
8	IC (m3) Inferior	12,7284
9	IC (m3) Superior	15,5029
10	IC (m3/ha) Inferior	157,1404
11	IC (m3/ha) Superior	191,3944
12	IC Total (m3) inferior	15085,4776
13	IC Total (m3) Superior	18373,8616

Fonte: Autor.

Figura 104 — Amostragem sistemática no App Inventário Florestal

App Inventário Florestal 2.0.4 Intro Importação Mapeamento de variáveis Preparação Totalização de fustes Altura e volume Distribuições e gráficos **Inventário** Download

Inventário florestal

Seleccione o nível de significância:
 Seleccione o erro admitido (%):
 Seleccione o n° de casas decimais:
 Considerar a população infinita ou finita? ☒ Infinita ☐ Finita
 Calcular uma amostragem sistemática para cada estrato? ☐ Sim ☒ Não

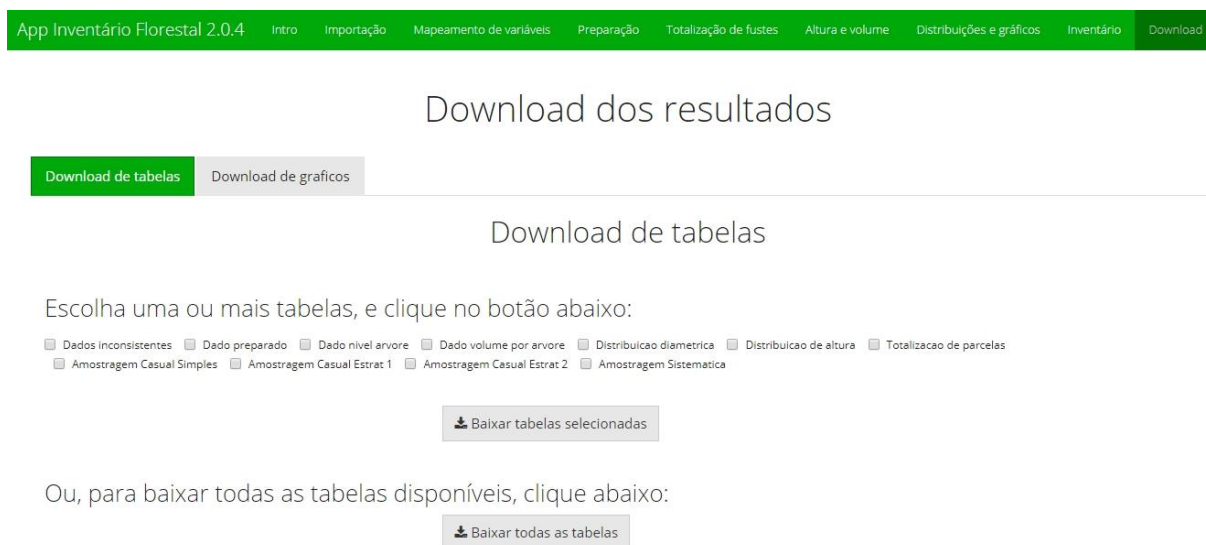
Seleccione a variável utilizada nas estatísticas:
☐ Indv ☐ G ☒ VCC ☐ VSC

Totalização de parcelas Amostragem casual simples Amostragem casual estratificada **Amostragem sistemática**

	Variáveis	↑ Valores ↓
1	Numero de Parcelas (n)	10,0000
2	Numero de Parcelas cabíveis (N)	592,5926
3	Coefficiente de Variância (CV)	15,9106
4	t-student	2,2622
5	t-student recalculado	2,1788
6	Numero de amostras referente ao erro admitido	13
7	Media geral (Y)	14,1934
8	Erro-Padiao da Media (Sy)	0,6942
9	Erro Absoluto	1,5703
10	Erro Relativo (%)	11,0638
11	Volume total estimado (Yhat)	8410,8919

Fonte: Autor.

Na aba download, duas sub-abas estão disponíveis para o usuário realizar o download dos resultados obtidos. É possível fazer o download de todas as análises possíveis, mesmo daquelas que não foram visualizadas pelo usuário, desde que as variáveis necessárias para o processamento tenham sido fornecidas. Os Resultados são exportados em uma planilha .xlsx, e os gráficos nos formatos .png, .jpg e .pdf (Figuras 105 e 106).

Figura 105 — Download de tabelas no App Inventário Florestal

Fonte: Autor.

Figura 106 — Download de gráficos no App Inventário Florestal

Fonte: Autor.

O *web app* App Inventário Florestal foi carregado no servidor contratado, e disponibilizado online por meio de um ip fixo. Desde a publicação de sua versão beta em 2017, o aplicativo já conta com uma média de 100 acessos por semana, e vêm sendo utilizado por professores, alunos e profissionais da área.

5 CONCLUSÕES

O aplicativo App Inventário Florestal foi criado com sucesso e já tem sido utilizado pela comunidade. O acesso via browser tem sido um atrativo já que não há a necessidade de instalação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 5ª ed. Viçosa: UFV, 2017.

CURTIS, R. O. Height-Diameter and Height-Diameter-Age Equations For Second-Growth Douglas-Fir. **Forest Science**, v. 13, n. 4, p. 365–375, 1967.

HUSCH, B.; BEERS, T.; KERSHAW, J. **Forest Mensuration**. 4ª ed. New Jersey: John Wiley & sons, Inc., 2003.

NASCIMENTO, R. G. M. **Modelagem e simulação do crescimento e produção de floresta tropical manejada na Amazônia oriental**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2016.

3 CONCLUSÕES GERAIS

Os três aplicativos foram criados com sucesso, e realizam todas as funções destacadas nos fluxogramas. Todos os aplicativos foram inseridos no servidor da Amazon Web Services, e podem ser acessados remotamente utilizando um navegador de internet.

APÊNDICE A — MANUAL DO PACOTE FORESTMANGR

<https://cran.r-project.org/web/packages/forestmangr/forestmangr.pdf>

APÊNDICE B — CÓDIGO FONTE DOS WEB APPS

App Inventário de Nativas: https://github.com/sollano/nativas_app

App Cubagem: https://github.com/sollano/cubagem_app

App Inventário Florestal: https://github.com/sollano/inventario_app